

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a  
komunikačních technologií

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2016

Martin Dubský



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**  
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A  
ELEKTRONIKY**  
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

**SEISMICKÉ ZKOUŠKY ODOLNOSTI SPÍNACÍ  
TECHNIKY NÍZKÉHO NAPĚTÍ**  
SEISMIC TEST OF THE SWITCHING DEVICES ON THE LOW VOLTAGE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Martin Dubský

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Ing. Lukáš Dostál



VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
TECHNICKÉ A KOMUNIKAČNÍCH  
V BRNĚ TECHNOLOGIÍ

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

**Student:** Martin Dubský

**ID:** 164721

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2015/16

**NÁZEV TÉMATU:**

## Seismické zkoušky odolnosti spínací techniky nízkého napětí

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Provedte analýzu seismických zkoušek.
2. Vypracujte přehled požadavků na seismickou odolnost jističů NN a příslušenství dle jednotlivých norem IEC.
3. Provedte průzkum trhu a vyberte:
  - a. Zařízení vhodná pro Zkouška seismické odolnosti jističů a jejich příslušenství,
  - b. externí zkušební laboratoře vhodné pro tyto zkoušky.
4. Navrhněte zkušební pracoviště seismické odolnosti jističů nn a příslušenství spolu s výpočtem ekonomické návratnosti.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ČSN EN 60068 - Zkoušení vlivů prostředí.
- [2] ČSN EN 61373 - Drážní zařízení - Zařízení drážních vozidel - Zkoušky rázy a vibracemi - (IEC 61373:1999)

**Termín zadání:** 21.9.2015

**Termín odevzdání:** 31.5.2016

**Vedoucí práce:** Ing. Lukáš Dostál

**Konzultant bakalářské práce:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D., předseda oborové rady**

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá analýzou seismických zkoušek dle platných technických norem. Je zde vysvětlen pojem technická norma a vypracovaný přehled požadavků na seismickou odolnost jističů nízkého napětí. Také jsou zde uvedeny přístroje vhodné pro tyto účely a externí laboratoře zabývající se těmito zkouškami. V závěrečné části je uveden návrh zkušebního pracoviště s odhadovanou ekonomickou návratností. Seismické zkoušky jsou velmi důležitou částí při návrhu nejen spínací techniky. Umožňují simulovat vybrané mechanické vlivy, které mohou na přístroj během jeho provozu nebo přepravy působit a zvýšit tak jeho spolehlivost.

## **Abstract**

This work analyzes the seismic tests to valid technical standards. Here is explained the term technical standard and written summary requirements for seismic resistance circuit breakers low voltage. The work includes devices suitable for the purpose and extreme laboratories dealing with seismic tests. The final section provides a draft test station with estimated economic return. Seismic tests are a very important part in the design of not only switching technology. It allows you to simulate the selected mechanical effects which may on the unit during operation or transportation to work and increase its reliability.

**Klíčová slova**

seismické zkoušky; vibrační zkoušky; jistič; rázy; vibrace; mechanické zkoušky;

**Keywords**

seismic tests; vibration tests; circuit breaker; shock; vibration; mechanical tests

## **Bibliografická citace**

DUBSKÝ, M. *Seismické zkoušky odolnosti spínací techniky nízkého napětí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 50 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Lukáš Dostál.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Seismické zkoušky odolnosti spínací techniky nízkého napětí jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

Podpis autora .....

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Dostálovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady a společnost OEZ při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

Podpis autora .....



## OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK .....	9
1 ÚVOD.....	11
2 TECHNICKÁ NORMA.....	12
2.1 IEC.....	12
2.2 ISO .....	12
2.3 ČSN.....	12
2.4 UL .....	13
3 ANALÝZA SEISMICKÝCH ZKOUŠEK.....	14
3.1 UPEVNĚNÍ VZORKŮ PRO ZKOUŠKY VIBRACEMI, NÁRAZY A OBDOBNÉ DYNAMICKÉ ZKOUŠKY ..	14
3.2 ZKOUŠKA EA: RÁZY .....	15
3.3 ZKOUŠKA FF: VIBRACE – METODA ČASOVÉHO PRŮBĚHU A SINUSOVÝCH IMPULZŮ .....	16
3.3.1 METODA ČASOVÉHO PRŮBĚHU .....	17
3.3.2 METODA SINUSOVÝCH IMPULZŮ .....	17
3.4 ZKOUŠKA FC: VIBRACE (SINUSOVÉ).....	17
3.4.1 ZKOUŠKA ROZMÍTÁNÍM .....	18
3.4.2 ZKOUŠKA NA STÁLÝCH KMITOČTECH.....	19
3.4.3 VYŠETŘENÍ VIBRAČNÍ ODEZVY .....	19
3.4.4 STUPNĚ PŘÍSNOSTI .....	19
3.5 ZKOUŠKA FG: VIBRACE – AKUSTICKY INDUKOVANÁ METODA.....	20
3.6 ZKOUŠENÍ VLIVU ZEMĚTŘESENÍ NA ELEKTRICKÁ ZAŘÍZENÍ.....	20
3.6.1 VŠEOBECNÁ SEISMICKÁ TŘÍDA .....	21
3.6.2 SPECIFICKÁ SEISMICKÁ TŘÍDA .....	21
3.7 ZAŘÍZENÍ DRÁŽNÍCH VOZIDEL – ZKOUŠKY RÁZY A VIBRACEMI.....	21
4 PŘEHLED POŽADAVKŮ NA SEISMICKOU ODOLNOST JISTIČŮ NN A PŘÍSLUŠENSTVÍ DLE IEC .....	24
5 ZAŘÍZENÍ VHODNÁ PRO ZKOUŠKY SEISMICKÉ ODOLNOSTI .....	25
5.1 VIBRAČNÍ SYSTÉMY LDS.....	25
5.2 VIBRAČNÍ SYSTÉMY VÖTSCH .....	28
5.3 VIBRAČNÍ SYSTÉMY TIRA .....	29
5.4 VIBRAČNÍ SYSTÉMY RMS.....	29
5.5 VIBRAČNÍ SYSTÉMY VR.....	30
5.6 AKCELEROMETRY PCB.....	31
6 EXTERNÍ ZKUŠEBNÍ LABORATOŘE VHODNÉ PRO SEISMICKÉ ZKOUŠKY .....	32





<b>6.1 ZKUŠEBNA FIRMY SWELL, A.S.</b>	<b>32</b>
<b>6.2 VZLÚ - VÝZKUMNÝ A ZKUŠEBNÍ LETECKÝ ÚSTAV, A.S.</b>	<b>32</b>
<b>6.3 ETC – EVROPSKÉ TESTOVACÍ CENTRUM PRAHA</b>	<b>33</b>
<b>6.4 VZÚ – VÝZKUMNÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV PLZEŇ S.R.O.</b>	<b>33</b>
<b>6.5 ZKUŠEBNÍ LABORATOŘ CVVOZE (SE1.100)</b>	<b>33</b>
<b>6.6 ZKUŠEBNA FIRMY OEZ S.R.O.</b>	<b>34</b>
<b>6.7 VTÚPV VOJENSKÝ TECHNICKÝ ÚSTAV POZEMNÍHO VOJSKA</b>	<b>34</b>
<b>7 NÁVRH ZKUŠEBNÍHO PRACOVISTĚ</b>	<b>35</b>
<b>7.1 VÝBĚR VHODNÉHO ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ</b>	<b>35</b>
7.1.1 VIBRAČNÍ GENERÁTOR	35
7.1.2 KLUZNÝ STŮL	36
7.1.3 ŘÍDICÍ SYSTÉM	37
7.1.4 VÝKONOVÝ ZESILOVAČ	37
7.1.5 CHLAZENÍ	38
7.1.6 SNÍMAČ ZRYCHLENÍ	38
7.1.7 UPEVNŮVACÍ PŘÍPRAVEK	38
7.1.8 OSTATNÍ POTŘEBNÉ VYBAVENÍ	39
7.1.9 SCHÉMA VIBRAČNÍHO SYSTÉMU	39
<b>7.2 VÝBĚR VHODNÉHO PROSTORU PRO ZKUŠEBNU</b>	<b>40</b>
<b>7.3 PŘEDPOKLÁDANÁ EKONOMICKÁ NÁVRATNOST</b>	<b>40</b>
7.3.1 CENOVÁ NABÍDKA OD FIRMY RMS	40
7.3.2 DALŠÍ POČÁTEČNÍ VÝDAJE	41
7.3.3 PRAVIDELNÉ ROČNÍ VÝDAJE	42
7.3.4 ODHADOVANÝ VÝNOS	42
7.3.5 KALKULACE	42
7.3.6 ZHODNOCENÍ EKONOMICKÉ NÁVRATNOSTI	43
<b>8 ZÁVĚR</b>	<b>44</b>
<b>9 LITERATURA</b>	<b>45</b>
<b>10 PŘÍLOHY</b>	<b>48</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 3.1: Základní tvary pulzů.....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 5.1: LDS V 875 systém LPT Combo [24] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 5.2:LDS V9 systém HBT Combo [25].....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 5.3: Klimatická komora Vötsch pro kombinované zkoušky [37] .....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 5.4: Vibrační systémy TIRA 9N až 400N [38] .....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 5.5: Vibrační systém RMS [26].....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 5.6: Řídicí systém VR9500 [29] .....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 6.1: Firma SWELL: Vibrační systém LDS ve spojení s klimatickou komorou Vötsch [40] .....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 6.2: Vibrační systém RMS a klimatická komora Vötsch ve zkušebně CVVOZE [39].....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 7.1: Akcelerometr ICP 352C33 [34] .....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 7.2: Nakreslené schéma navrženého vibračního systému.....</i>	<i>39</i>



## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 3.1: Stupeň přísnosti a použití zkoušky Ea [18] .....</i>	<i>16</i>
<i>Tabulka 3.2: Kritéria způsobilosti [23] .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka 3.3: Podmínky pro funkční zkoušku náhodnými vibracemi [35] .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 3.4: Podmínky pro dlouhodobou simulovanou zkoušku [35] .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka 3.5: Podmínky pro zkoušku rázy [35] .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka 4.1: Parametry pro vybrané seismické zkoušky jističů NN [27] [30] .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 5.1: Příklad LDS systému se základními parametry [10] .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 5.2: Příklad Vötsch systému [11] .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 5.3: Příklad Tira systému [36] .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 5.4: Příklad akcelerometru PCB 352C33 a 353B03 [33] .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 7.1: Parametry RMS SW8142-18 [26] .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 7.2: Parametry RMS SWH600 [26] .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 7.3: Parametry TGE10-2 [26] .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 7.4: Parametry chladicí jednotky SWG731 .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 7.5: Cenová nabídka od firmy RMS .....</i>	<i>41</i>



## Seznam symbolů a zkratk

ČSN	[-]	Česká technická norma
ANSI	[-]	Americká technická norma
DIN	[-]	Německá technická norma
IEC	[-]	Mezinárodní elektrotechnická komise
ISO	[-]	Mezinárodní organizace pro normalizaci
NN	[-]	Nízké napětí
Zkouška E	[-]	Zkouška nárazy
Zkouška F	[-]	Zkouška vibracemi
Zkouška G	[-]	Zkouška stálým zrychlením
Q	[-]	Zesilovací činitel
VC	[Kč]	Vstupní cena
ROS	[%/rok]	Maximální roční odpisové sazby
Z <sub>c</sub>	[Kč]	Zůstatková cena
N <sub>odp</sub>	[Kč/rok]	Velikost odpisu
Z	[Kč]	Zisk
Z <sub>č</sub>	[Kč]	Čistý zisk
P <sub>j</sub>	[Kč]	Peněžní příjem
P <sub>jA</sub>	[Kč]	Aktualizovaný peněžní příjem na přítomnost
I	[-]	Diskontní sazba – požadovaná výnosnost
DPH	[%]	Daň z příjmu



## 1 ÚVOD

Mechanické zkoušky odolnosti jsou důležitou součástí při návrhu a následné výrobě nejen elektrických zařízení. Umožňují snížit riziko nespolehlivosti výrobku na minimum. Do této kategorie spadají i seismické zkoušky odolnosti, tedy zkoušky odolnosti na vibrace nebo rázy proti vybraným mechanickým vlivům. Tyto nepříznivé vlivy mohou na přístroj působit například během přepravy, při instalaci nebo živelných pohromách jako je zemětřesení. Projevují se mechanickým namáháním přístroje. Jinými slovy je zařízení testováno na odolnost proti pravidelným či nepravidelným vibracím, otřesům a podobným mechanickým namáháním. Mechanická pevnost spolu s odolností přístrojů je velmi důležitá vlastnost, jelikož velká část poruch přístrojů je způsobena právě mechanickými vlivy. Pokud elektrický přístroj nevyhoví mechanickým zkouškám, nemá smysl ho dále zkoušet na jeho elektrické vlastnosti a je třeba nejprve zlepšit jeho mechanickou odolnost.

Mechanické zkoušky a tedy i seismické zkoušky jsou důležité u jističů nízkého napětí pro jejich bezporuchový provoz a tedy zabezpečení obvodů, osob a zařízení před nepříznivými účinky nadproudů a zkratů. Je třeba, aby jistič spolehlivě fungoval za všech okolností a tedy i při různých nahodilých i pravidelných mechanických jevech, kterým může být při svém běžném provozu vystaven. Nejnáchylnější část jističe na mechanické vlivy je potom jeho mechanická část, která by při specifickém mechanickém namáhání mohla způsobit neplánované vybavení jističe a tím odpojení obvodu.

Tato práce bude zaměřena právě na tyto seismické zkoušky. V úvodu bude obecně vysvětlen pojem technická norma, a proč je dobré se jimi řídit. Budou zde uvedeny nejpoužívanější seismické zkoušky spolu s odkazem na platnou českou technickou normu vycházející z mezinárodní technické normy IEC, přehled požadavků na seismickou odolnost jističů nízkého napětí a také zde budou uvedeny nejpoužívanější přístroje pro tyto zkoušky a vybrané zkušební pracoviště na území ČR. V závěrečné části práce bude uveden návrh zkušební laboratoře pro OEZ s.r.o., spolu s výběrem vhodného zkušebního zařízení a teoretickou předběžnou ekonomickou návratností.



## 2 TECHNICKÁ NORMA

Pod pojmem technická norma nebo také standard si lze představit sepsaný souhrn požadavků na určitý výrobek, službu nebo proces tak, aby byl vhodný pro daný účel při specifických podmínkách. Tento standard založený na souhlasu všech zúčastněných stran určí vlastnosti, pravidla, důležité parametry či správný pracovní postup, který vede k tzv. standardizaci. V tuto chvíli nejsou technické normy obecně závazné. Označují se jako kvalifikované doporučení, které je tedy dobrovolné. Toto doporučení je ovšem velmi výhodné jak pro spotřebitele, tak pro výrobce [1].

Normy můžeme obecně rozdělit na mezinárodní a národní. Mezi nejvýznamnější mezinárodní poskytovatele technických norem patří Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC), nebo Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO). Národní organizace podřizující se mezinárodním organizacím jsou například americká ANSI, německá DIN, nebo česká ČSN.

### 2.1 IEC

Mezinárodní elektrotechnická komise je nestátní nezisková světová organizace, která se zabývá vypracováním a následným uveřejněním mezinárodních norem pro veškeré elektrické, elektronické a s tím související technologie souhrnně nazývané „elektrotechnologie“. Byla založena roku 1906. Snaží se propagovat a šířit význam normalizace po celém světě. Normy IEC přispívají k bezpečnosti i k ochraně životního prostředí. IEC publikace slouží jako základ pro národní standardizace a jako reference při navrhování mezinárodních výběrových řízení a smluv. Zázemí se nachází v USA, Singapuru, Brazílii a Austrálii s tím, že hlavní sídlo leží v Ženevě.

Členové IEC pocházejí z celého světa, ovšem všichni mají společné to, že zastupují elektrotechnickou oblast v jejich zemi a snaží se o jeho normalizaci. IEC se také snaží proniknout do nově industrializovaných zemí pomocí svého Programu přidružených zemí (Affiliate Country Programme). Umožňuje jim zdarma se zapojit do práce IEC, aby byli následně připraveni se stát členy IEC. V současnosti má IEC 60 členů a 23 přidružených států. Na odborné práci se podílí asi cca 10 000 odborníků z celého světa [2].

Normy se označují čísly v rozmezí 60000-79999 (např. IEC 60917). Díky úzké spolupráci s Mezinárodní organizací pro normalizaci (ISO) mohou být normy vytvořené díky této spolupráci označené zkratkou obou organizací (např. ISO/IEC 20000-1).

### 2.2 ISO

Nezávislá, nevládní mezinárodní organizace pro normalizaci se zabývá tvorbou norem a její hlavní sídlo leží v Ženevě, ve Švýcarsku. ISO vydala desítky tisíc mezinárodních standardů a souvisejících dokumentů, které se dotýkají téměř každého průmyslu, od zemědělství, bezpečnosti potravin až po technologii.

### 2.3 ČSN

Zkratka ČSN označuje Českou národní technickou normu. Správu ČSN zajišťuje Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví se sídlem v Praze. ČSN jsou rozděleny do tříd a skupin a označeny zkratkou ČSN a třídícím znakem, tedy šesti číslicemi. První dvě číslice



udávají třídu, druhé dvě označují skupinu v rámci třídy a poslední dvě jsou pořadové. ČSN můžeme také rozdělit buď na původní, nebo na přejatou z evropské či mezinárodní normy [3].

Původní česká technická norma může být vytvořena pouze v oblastech, kde neexistují normy evropské či mezinárodní. Je označována zkratkou ČSN (např. ČSN 72 1029). Tyto původní normy ovšem představují pouze cca 10% z celkové roční produkce technických norem u nás.

Přejaté evropské či mezinárodní technické normy (např. IEC, ISO, EN,...) do soustavy českých norem se stávají českými normami. Označují se pomocí zkratky ČSN, značky přejímané normy a číselným označením přejímané normy (např. ČSN ISO 10813-1, nebo ČSN EN 60255-21-1 atd.). Každá tato zavedená norma dostane zároveň po přijetí do naší soustavy třídící znak ve formátu šesti číslic, stejný jako u původních českých norem. Tyto přejaté normy tvoří zbylých cca 90% z celkové roční produkce technických norem u nás. Přijmutím přejaté normy se zároveň ruší případná původní platná česká norma, která by byla v konfliktu s novou přejatou normou.

Technické normy mohou být přejímány do soustavy ČSN třemi různými způsoby: Cca 60% z celkového objemu přejatých norem bylo převzato překladem, kde je titulní strana, text i případná příloha normy přeložena do češtiny. Druhým způsobem je převzetí originálu. Zde je přeložena do češtiny titulní strana, za kterou následuje originální text v anglickém jazyce, který může být případně doplněn o přílohu přeloženou do češtiny. Posledním způsobem převzetí je schválení k přímému používání. Pokud zákazník normu požaduje, obdrží obálku s názvem a označením normy v českém jazyce a v ní najde anglický originál [1].

## 2.4 UL

Americká UL (Underwriters Laboratories) norma odpovídá německé variantě označované jako VDE. UL je americká celosvětová bezpečnostní, poradenská a certifikační společnost založená v roce 1894 s hlavním sídlem v Illinois v USA. UL neschvaluje produkty, nýbrž zkouší výrobky, jejich komponenty a materiály, zda odpovídají specifickým požadavkům. Poskytuje certifikace týkající se bezpečnosti, validace, testování atd. a také poskytuje školení širokému spektru klientů včetně výrobců, maloobchodníků, servisních společností a spotřebitelů [4].



### 3 ANALÝZA SEISMICKÝCH ZKOUŠEK

Seismické zkoušky jsou určeny k prokázání schopnosti zařízení plnit svou funkci během i po uplynutí doby, po kterou je vystaveno namáhání a výchylkám způsobeným vibracemi, otřesy nebo rázy. Existuje mnoho druhů seismických zkoušek. Při některých zkouškách se například hledá tzv. kritický kmitočet, kdy přístroj při tomto kmitočtu může ztrácet schopnost zahájit nebo udržovat požadovanou funkci nebo se zde vyskytne mechanická rezonance, která má za následek rozechvění přístroje. Při takovéto frekvenci, kdy vznikla mechanická rezonance, můžou nastat různé nepříznivé vlivy jako například uvolnění šroubů, povolení vodičů nebo neplánované vybavení jističe. Před zahájením zkoušky bývá provedena vstupní prohlídka, která spočívá v kontrole zapojení přístroje a kontrolní zkoušce funkčnosti. Během zkoušky a po zkoušce se také provádí vizuální kontrola mechanické celistvosti přístroje proti případným mechanickým poškozením. Seismické zkoušky prováděné na prototypch slouží k získání informací pro vývoj zařízení, nebo k jeho odladění. Pro osvědčení o zkoušce je ale zapotřebí zkoušku provádět na zařízení z běžné výroby.

Tyto zkoušky jsou popsány a stanoveny v příslušných technických normách. Soubor norem ČSN EN 60068, který vychází z mezinárodní normy IEC 60068, se týká zkoušek vlivů prostředí na elektrické přístroje, obsahuje jejich postupy a stupně přísnosti. Druhá část tohoto souboru obsahuje různé skupiny zkoušek (chlad, teplo, prach, tlak atd.). Vibrace jsou označeny písmenem *F* a rázy písmenem *E*. Další vhodnou technickou normou zabývající se zkoušením vlivu vibrací a rázů je ČSN EN 61373 s názvem Drážní zařízení – Zařízení drážních vozidel – Zkoušky rázy a vibracemi, která vychází z mezinárodní normy IEC 61373:2010.

Seismické zkoušky můžeme rozdělit na zkoušení samotných součástek zařízení a na zkoušení celého zařízení. Vzhledem k tématu práce je popis zkoušek zaměřen převážně na zkoušení celého zařízení. Avšak odchylky jsou pouze ve stupních přísnosti zkoušky a v nastavovaných parametrech, nikoliv v obecných postupech zkoušky. V následujících podkapitolách jsou tyto technické normy dále popsány.

#### 3.1 Upevnění vzorků pro zkoušky vibracemi, nárazy a obdobné dynamické zkoušky

Upevněním zařízení pro seismické zkoušky se zabývá technická norma ČSN EN 60068-2-47. Jsou zde uvedeny metody upevnění zařízení, a to jak v nezabaleném stavu, tak i ve stavu zabaleném (například balík, obsahující obal a jeho obsah, tedy elektronické zařízení připravené na transport) z důvodu výskytu vibrací při manipulaci s balíkem při jeho přepravě. Tento přístroj, jak už v zabalené nebo nezabalené formě, se nazývá vzorek [19].

Pokud je důležitý vliv gravitační síly (dle příslušné specifikace), musí být vzorek upevněn ve stejném směru, v jakém by na něj působila gravitační síla při jeho normálním používání. Pokud tomu tak není, lze vzorek připevnit v libovolné poloze. Je třeba také brát v úvahu jakou část zařízení je záměrem dynamicky zatěžovat. Pokud jsou na vzorek připojeny vodiče, musí být přivedeny tak, aby kladly podobné omezení jako při jeho normálním používání. Vzorek se obvykle připoutá buď přímo s upevňovacím povrchem zkušebního zařízení, nebo pomocí tuhého zkušebního přípravku [19].



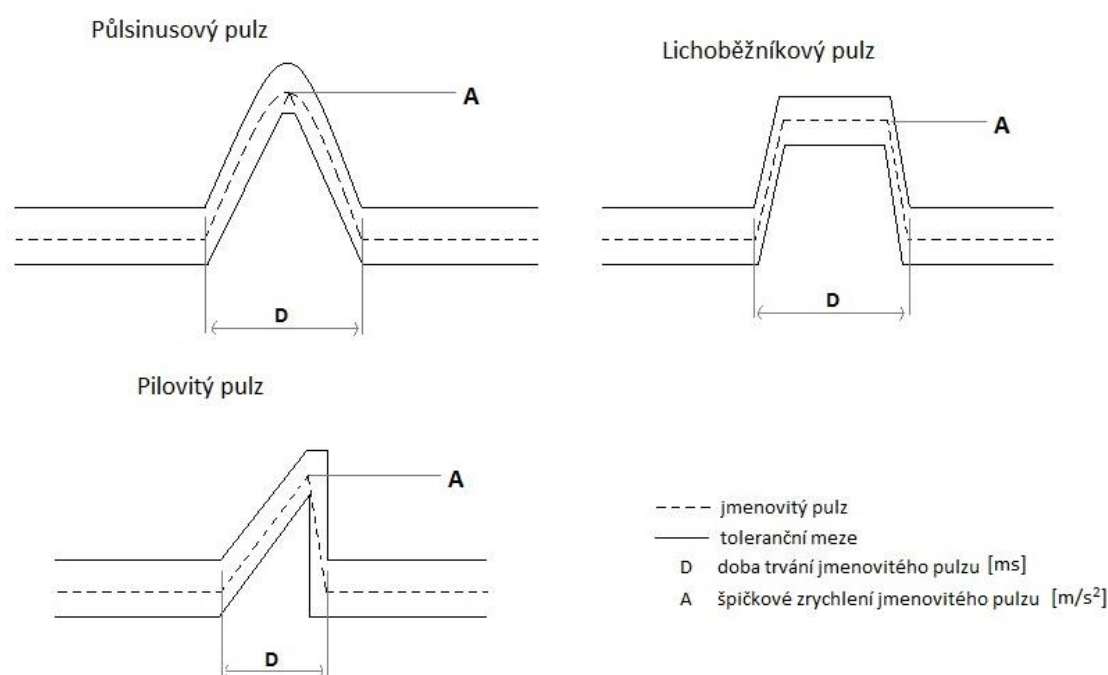
Vzorek také musí být testován spolu se skutečnou připevňovací konstrukcí, upínacím přípravkem nebo s případnou tzv. redukcí, pokud zařízení nahrazuje například nějaký starší model s jinými rozměry.

### 3.2 Zkouška Ea: Rázy

Zkouška dle normy ČSN EN 60068-2-27 je vhodná ke zkoušení celistvosti a tedy k odhalení mechanicky slabých míst popřípadě jako prostředek řízení kvality. Zkoušený vzorek se podrobí buď opakovaným, nebo neopakovaným rázům, které mají standardní tvar pulzů, specifikované zrychlení a dobu trvání. Je vhodná pro nezabalené výrobky případně pro výrobky zabalené do přepravního obalu s ohledem na normu ČSN EN 60068-2-47 [19], která je popsána v předešlé podkapitole [18].

Pokud je zařízení určené pro zkoušku rázy zatíženo vzorkem, musí se tvar vlny měřený v bodě, který je umístěný na upínacím přípravku nebo na vzorku pokud možno co nejbližší k upevňovacímu bodu, skládat z pulzů odpovídající jmenovitým křivkám závislosti zrychlení na čase, nebo alespoň přibližně odpovídat tomuto tvaru. Základní tvary pulzů dělíme na tři typy. Je to tvar pulsusový, lichoběžníkový a pilovitý (Obrázek 3.1) [18].

Pulsusový pulz je obvykle používán při reprodukování vlivů rázu, který je způsoben nárazem nebo zpožděním u lineárních systémů (např. náraz působící na pružnou konstrukci). Lichoběžníkový pulz není přednostně určen pro součástky. Oproti pulsusovému pulzu vyvolává větší odezvu v širším kmitočtovém spektru. Používá se pro napodobení rázů, které vznikají například při odpoutání kosmické družice s použitím tzv. výbušných šroubů. Pilovitý pulz má rovnoměrnější spektrum odezvy oproti dvěma předešlým pulzům. Pokud je známo spektrum odezvy rázu v prostředí provozu nebo přepravy, použije se jeden z těchto pulzů, pokud to známo není, měly by se použít tabulky A.1 a A.2 nacházející se v normě ČSN EN 60068-2-27 [18].



Obrázek 3.1: Základní tvary pulzů



Důležitá je také četnost opakování jednotlivých rázů. Jakýkoli relativní pohyb ve vzorku musí být mezi dvěma rázy nulový. Pokud by tato podmínka nebyla splněna, mohlo by dojít k opětovnému vybuzení rezonance vzorku v různých fázích dozínávání rezonance a to by mělo za následek různé výsledky zkoušek u stejného vzorku [18].

Pokud v příslušné specifikaci není uvedeno jinak, musejí být aplikovány rázy v každé ze tří pravoúhlých os a jak v kladném tak i v záporném směru. Nejčastěji se volí 3 rázy na každou osu, dohromady tedy 18 rázů. Pokud testujeme několik stejných vzorků najednou, lze je umístit na zkušební zařízení tak, aby byly rázy aplikovány zároveň ve více osách. Je také zapotřebí vzít v úvahu vliv gravitace. V každém směru můžeme počet rázů volit z těchto hodnot:  $3 \pm 0$ ;  $100 \pm 5$ ;  $500 \pm 5$ ;  $1\,000 \pm 10$ ;  $5\,000 \pm 10$ . Důležitá je také aklimatizace mezi zkouškami, kde je potřebné, aby byl vzorek testován za stejných podmínek, jaké byly při počátečním měření. Příklad stupňů přísnosti a použití zkoušky lze nalézt v tabulce [18].

Tabulka 3.1: Stupeň přísnosti a použití zkoušky  $E_a$  [18]

Špičkové zrychlení (A)	Doba trvání jmenovitého pulzu (D)	Tvar pulzu	Použití
[m/s <sup>2</sup> ]	[ms]		
150	11	pulsusový pilovitý lichoběžníkový	Obecně použitelná zkouška odolnosti při manipulaci nebo přepravě.
300	18	pulsusový pilovitý lichoběžníkový	Celistvost konstrukce upevňovacích úchytů.
500	11	pulsusový pilovitý lichoběžníkový	Pro objekty v zajištěné poloze při přepravě v terénu, nebo pro objekty v nezajištěné poloze při přepravě po silnici nebo železnici.
1000	6	pulsusový pilovitý lichoběžníkový	Rázy při hrubé manipulaci při přepravě, nebo rázy způsobené v kosmickém odvětví.
5000	1	pulsusový	Rázy způsobené výbuchem.
15000	0,5	pulsusový	Zkoušky celistvosti konstrukce polovodičů.

Pozn.: Tučně zvýrazněné hodnoty jsou používány při zkouškách jističů NN (viz. Kapitola 4).

Pokud tuto zkoušku zahrneme do příslušné specifikace, musí se v ní uvést příslušné údaje. Mezi ty nejdůležitější patří: tvar pulzu, tolerance, změna rychlosti, příčný pohyb, osa buzení, poloha při expozici a zkušební osy, způsob upevnění, stupeň přísnosti, směry a počet rázů a kritéria přijetí a zamítnutí. Ostatní údaje lze nalézt v [18].

### 3.3 Zkouška Ff: Vibrace – Metoda časového průběhu a sinusových impulzů

Touto zkouškou se zabývá technická norma ČSN EN 60068-2-57. Je určena pro odzkoušení součástí nebo zařízení, které mohou být vystaveny krátkodobým dynamickým silám a to jak



náhodného nebo kmitavého typu. Tyto síly působí nejčastěji při výbuchu, zemětřesení, vlivem přechodných vibrací ve strojním zařízení nebo také při přepravě zařízení [20].

### 3.3.1 Metoda časového průběhu

Používá se pro aplikace, kde je potřeba přesně reprodukovat určité vibrační prostředí, nebo u vzorků, kde je těžké stanovit například kritické kmitočty. Stupeň přísnosti této zkoušky je určen kombinací několika parametrů. Jedná se o rozsah zkušebních kmitočtů, požadované spektrum odezvy, počet a dobu trvání časových průběhů a počet cyklů s vysokým namáháním [20].

Rozsah zkušebních kmitočtů vychází z [20], mezi doporučené patří: 0,1 Hz až 10 Hz; 1 Hz až 35 Hz; 1 Hz až 100 Hz; 5 Hz až 35 Hz; 10 Hz až 100 Hz; 10 Hz až 500 Hz; 10 Hz až 2 000 Hz; 55 Hz až 2 000 Hz. Počet časových průběhů pro každou osu lze vybírat z této řady: 1; 2; 5; 10; 20; 50; atd. Doba trvání jednotlivého časového průběhu lze potom vybírat z: 1 s; 2 s; 3 s; 5 s; 10 s; 20 s; 30 s; 50 s; atd. Počet cyklů s vysokým namáháním lze volit z: 4; 8; 16; 32; 64 atd [20].

### 3.3.2 Metoda sinusových impulzů

Používá se obvykle na zařízení, které je vystaveno kmitavým silám s krátkou dobou trvání. Speciálně vhodná je také pro zařízení, která se montují do konstrukcí, která mohou být v praxi vystavena náhodným buzením. Stupeň přísnosti této zkoušky je určen kombinací několika parametrů. Jedná se o rozsah zkušebních kmitočtů, zkušební úroveň, počet cyklů v sinusovém impulzu a počet sinusových impulzů [20].

Je potřeba si stanovit zkušební kmitočty. To jsou například kritické kmitočty stanovené při vyšetření vibrační odezvy, nebo jakékoli určené kmitočty. Pokud tyto kmitočty nejsou stanovené, musí se zkouška provádět na kmitočtech v krocích, které nebudou větší než polovina oktávy. Počet cyklů je volen z: 3; 5; 10 a 20. Preferuje se hodnota pěti cyklů [20].

## 3.4 Zkouška Fc: Vibrace (sinusové)

Tato zkouška vychází z normy ČSN EN 60068-2-6. Je vhodná k odzkoušení zařízení, které může být během přepravy nebo při provozu vystaveno vibracím, které mohou vzniknout například činností rotačních strojů, nebo přírodními živly. Zkoušené zařízení je vystaveno sinusovým vibracím v určitém kmitočtovém rozsahu, nebo sinusovým vibracím na stálých (diskrétních) kmitočtech po určitý časový interval. Tzv. kritické kmitočty, na kterých se provádí zkouška na stálých kmitočtech, mohou být stanoveny na základě vyšetření vibrační odezvy zkoušeného zařízení. Jedná se o kmitočty, na kterých se projevuje chybná nebo zhoršená funkce zařízení, nebo na které se vyskytují mechanické rezonance. Jako i u ostatních zkoušek, i zde je nutný určitý inženýrský úsudek. Pokud není stanoveno jinak, musí být zařízení testováno ve třech navzájem kolmých osách. Norma obsahuje podrobný popis a požadavky zkoušení, volbu stupně přísnosti (například kmitočtový rozsah, amplituda, nebo doba trvání) a v příloze této normy je uveden všeobecný návod pro zkoušku [21].

Norma definuje termíny tolerance signálu  $T$  a zkreslení signálu  $D$ , které se používají i v jiných normách pro zkoušky vibracemi. Pojem tolerance signálu je zde chápána jako skutečně zjištěná odchylka efektivní hodnoty filtrovaného signálu oproti nefiltrovanému signálu vyjádřená



v procentech. Signál je zde filtrován kvůli obnovení amplitudy zrychlení nejčastěji pomocí souběžového filtru. Používá se jak pro signál zrychlení, tak i pro signál rychlosti nebo výchylky. Pokud není stanoveno jinak, nesmí hodnota tolerance signálu přesáhnout hodnotu 5 %. Pokud se ovšem zkouší malé nebo lehké zařízení (například menší jističe nízkého napětí) na velkém vibračním stole, neměl by se vyskytovat problém s tolerancí signálu. Tolerance signálu se vypočítá pomocí vztahu [21]:

$$T = \left( \frac{NF}{F} - 1 \right) \times 100 \quad [\%] \quad (1.1)$$

kde  $NF$  je efektivní hodnota nefiltrovaného signálu;  
 $F$  je efektivní hodnota filtrovaného signálu.

Vztah mezi zkreslením signálu  $D$  a tolerancí signálu  $T$  je poté [21]:

$$\frac{D}{100} = \sqrt{\left( \frac{T}{100} \right)^2 + \frac{2 \times T}{100}} \quad (1.2)$$

kde  $D$  a  $T$  jsou hodnoty vyjádřené v procentech.

(Pozn.: dosadí-li se do rovnice (1.2) maximální přípustná hodnota tolerance:  $T = 5 \%$ , vyjde výsledná hodnota zkreslení:  $D = 32 \%$ )

Pokud je zařízení v praxi využíváno s namontovanými izolátory kmitání, tak se následující zkoušky provádí právě s těmito izolátory. Jestliže zkouška s izolátory není realizovatelná, musí se vynechání izolátorů při zkoušce zohlednit ve stupni přísnosti zkoušky [21].

### 3.4.1 Zkouška rozmitáním

Samotné rozmitání lze definovat jako prozkoušení zvoleného kmitočtového rozsahu od  $f_1$  do  $f_2$  a zpět do  $f_1$  se zvolenou rychlostí a amplitudou vibrací (například od 1 Hz do 500 Hz a zpět do 1 Hz). Tato zkouška je většinou preferována před zkouškou na stálých kmitočtech vzhledem k tomu, že v praxi je obtížné rozlišit rezonance, které mohou způsobit poruchu a které nikoliv a také obvykle nejlépe simuluje vlivy namáhání působících na zařízení během jeho funkce [21].

Rychlost rozmitání by měla být jedna oktáva za minutu s tím, že rozmitání bude plynulé a kmitočet se bude měnit exponenciálně s časem dle vztahu [21]:

$$\frac{f}{f_1} = e^{kt} \quad (1.3)$$

kde  $f$  je kmitočet [Hz];  
 $f_1$  je dolní kmitočet [Hz];  
 $t$  je doba [min];  
 $k$  je činitel, který je závislý na rychlosti rozmitání.

Typický dolní kmitočet ve zvoleném kmitočtovém rozsahu se volí z řady: 0,1 Hz; 1 Hz; 5 Hz; 10 Hz; 55 Hz a 100 Hz. Horní mezní kmitočet se volí z řady: 10 Hz; 20 Hz; 35 Hz; 55 Hz; 100 Hz; 150 Hz; 200 Hz; 300 Hz; 500 Hz; 1 000 Hz; 2 000 Hz a 5 000 Hz. Určitý kmitočet je specifikován jako tzv. kmitočet přechodu, pod kterým jsou všechny amplitudy definovány jako konstantní výchylka a nad tímto kmitočtem jsou amplitudy definovány poté jako konstantní



rychlost nebo konstantní zrychlení. Pro zkoušení jističů nízkého napětí je například tento kmitočet přechodu definován v hodnotě 6 Hz viz. (Tabulka 4.1). Dle normy [21] jsou kmitočty přechodu rozděleny na ty s menším kmitočtem (mezi 8 Hz a 10 Hz) a na ty s vyšším kmitočtem (mezi 58 Hz a 62 Hz) [21].

Doba trvání zkoušky je definována jako počet cyklů rozmítání a může se volit z této řady: 1; 2; 5; 10; 20; 50 a 100. Tato zkouška ovšem může být v některých případech až nevhodně dlouhá a je tedy lepší zvolit zkoušku na stálých kmitočtech. Většinou se uvažuje použití zkoušky na stálých kmitočtech, oproti zkoušce rozmítáním, pokud při vyšetření odezvy nepřesahuje počet kritických kmitočetů v každé ose hodnotu čtyři. Při větším počtu kritických kmitočetů se doporučuje zkouška rozmítáním [21].

### 3.4.2 Zkouška na stálých kmitočtech

Zkouška je vhodná tam, kde na zařízení působí omezený rozsah provozních podmínek (například v blízkosti známého strojního zařízení, nebo je zařízení používáno jen v několika typech vozidel nebo letadlech, kde lze kritické kmitočty předvídat). Zkouška tedy probíhá buď na zjištěných kritických kmitočtech pomocí vyšetření vibrační odezvy, nebo na předem určených (známých) kmitočtech. Vibrace na zjištěném kritickém kmitočtu pomocí vyšetření vibrační odezvy jsou poté aplikovány pomocí dvou metod [21]:

- stálý kmitočet – kmitočet se udržuje na zvoleném kritickém kmitočtu
- téměř stálý kmitočet – omezené rozmítání kmitočtu, většinou mezi 0,8násobkem a 1,2 násobkem kritického kmitočtu

Dobu trvání zkoušky lze volit z této řady: 10 min; 30 min; 90 min a 10 h. Pokud je časový interval zkoušky v jedné ose nebo na jednom kmitočtu větší než 10 hodin, smí se tato doba rozdělit na dílčí samostatné intervaly, pokud se tím nesníží namáhání testovaného zařízení [21].

### 3.4.3 Vyšetření vibrační odezvy

Odezva zařízení je vyšetřena v definovaném kmitočtovém rozsahu kvůli analýze jeho chování při vibracích a nalezení kritických kmitočetů. Většinou se vyšetření vibrační odezvy provádí za totožných podmínek jako při zkoušce rozmítáním (Kapitola 3.4.1), ale kvůli zjištění přesnější charakteristiky odezvy může být snížena amplituda vibrací, nebo rychlost rozmítání. Pokud není uvedeno jinak, musí být zkoušené zařízení během vyšetření vibrační odezvy v zapnutém stavu. Je nutné zařízení během tohoto vyšetření sledovat a zjištěné kmitočty a použité amplitudy zaznamenat v protokolu o zkoušce. V některých případech je požadováno vyšetření vibrační odezvy i po skončení zkoušky kvůli porovnání kritických kmitočetů před a po zkoušce. Pokud by například vyšetření vibrační odezvy, prováděné po zkoušce, odhalilo rezonance na jiném kmitočtu než před zkouškou, znamenalo by to, že došlo k jisté únavě nebo degradaci materiálu a mohlo by to znamenat, že zařízení není vhodné pro dané prostředí nebo přepravu [21].

### 3.4.4 Stupně přísnosti

Stupeň přísnosti zkoušky závisí na třech základních parametrech [21]:

- kmitočtovém rozsahu,
- amplitudě vibrací,



- době trvání zkoušky (počet cyklů rozmitání nebo časový interval zkoušky na stálých kmitočtech).

### 3.5 Zkouška Fg: Vibrace – Akusticky indukovaná metoda

Akusticky indukovaná metoda je popsána v technické normě ČSN EN 60068-2-65. Hluk vytváří vibrace, na které jsou citlivé zejména relativně lehké výrobky, jako jsou například antény a solární panely, desky plošných spojů a v neposlední řadě také elektronická zařízení a součástky. Zkušební postup v této normě spočívá především ve vytváření akustického pole s vysokou intenzitou dozvukovými metodami (pomocí dozvukové místnosti) a metodami s postupným vlněním (tzv. trubice s postupnými vlnami). Obvykle jsou akustické zkoušky požadovány pro hladinu akustického tlaku vyšší než 120 dB [22].

Obecně se považuje za dozvukovou místnost uzavřený prostor, který při vybuzení širokopásmovým hlukem poskytne zjednodušený model skutečných podmínek šíření zvuku v uzavřených prostorách. Stěny místnosti by měly mít malou propustnost hluku. V trubici s postupným vlněním se z akustického zdroje šíří zvukové vlny podél trubice, která je ukončena pohlcujícím akustickým médiem, aby zde nevznikal odraz zvukové vlny zpět do trubice. Dále existuje například ještě rezonanční dutina a trubice se stojatou vlnou [22].

### 3.6 Zkoušení vlivu zemětřesení na elektrická zařízení

Norma ČSN EN 60068-3-3 pojednává o zkouškách, které jsou určeny k prokázání schopnosti elektrického zařízení plnit požadovanou funkci během nebo po odeznění zemětřesení. Uvádí se zde ale také, že zkoušky popsané v této normě se dají využít i na jiná zařízení a součásti. Přístroje, které mají vyhovovat této normě, musí splňovat jistá kritéria způsobilosti pro jednotlivé aplikace (

Tabulka 3.2).

Převládající kmitočty při zemětřesení se pohybují obvykle v rozsahu 1 Hz až 35 Hz, proto se i zkoušky provádí většinou na tomto rozsahu. Doba trvání intenzivní části zemětřesení bývá obvykle mezi 5 s a 10 s. Při zkoušce by měly být vytvořeny totožné podmínky s provozními podmínkami, zejména takové, které ovlivňují činnost zařízení, jako například elektrické, mechanické nebo tepelné namáhání [23].

Tabulka 3.2: Kritéria způsobilosti [23]

<b>Kritérium 0</b>	Zařízení prošlo seismickou zkouškou bez poruchy. Jeho následná činnost nebyla ovlivněna.
<b>Kritérium 1</b>	Během seismické zkoušky vznikla na zařízení porucha, ale po zkoušce se zařízení vrátilo do bezzávadného stavu.
<b>Kritérium 2</b>	Během seismické zkoušky vznikla na zařízení porucha a bylo potřeba znovuseřízení přístroje pro dokončení zkoušky, ale nebyla nutná výměna.



V této normě jsou stanoveny dvě seismické třídy: všeobecná seismická třída a specifická seismická třída. Rozdíl spočívá v dosažitelnosti nebo přesnosti definování charakteristik seismického prostředí. Jinými slovy specifická seismická třída je určena pro prostory, kde je preferována vysoká spolehlivost a bezpečnost jako například jaderná elektrárna [23].

### 3.6.1 Všeobecná seismická třída

Pro tuto třídu přichází v úvahu několik typů zkoušek. Všeobecně se ale doporučuje jednoosá zkouška se sinusovým impulsem nebo jednoosá zkouška rozmítáním sinusových kmitů. Sinusový impuls je výhodný v tom, že jeho tvar je podobný jednotkovému vidu rezonance, kterou můžeme naměřit při horizontální vlně zemětřesení na jednoduchých konstrukcích. Skutečná horizontální vlna při zemětřesení na podlažních úrovních se od rozmítání sinusových kmitů trochu liší, ale díky jednoduché realizaci je hojně využívána. Zkouška by měla trvat přiměřeně stejně dlouho jako doba trvání intenzivní části časového průběhu zemětřesení [23].

### 3.6.2 Specifická seismická třída

Aby bylo zařízení zkoušeno podle této třídy, je doporučováno znát požadované spektrum odezvy, dobu trvání zemětřesení a požadovaný časový průběh. Pro tuto třídu jsou zkušební vlny rozděleny do dvou kategorií: vícekmitočtové vlny a jednokmitočtové vlny. Vícekmitočtové vlny se používají, pokud je spektrum širokopásmové. Jednokmitočtové vlny jsou například již zmíněný sinusový impuls, netlumená sinusoida, nebo rozmítání sinusových kmitů, které ale nejsou všeobecně užívány u této třídy. Pokud nejsou žádné vzájemně působící rezonanční kmitočty, nebo rezonanční kmitočty leží vně intenzivní části požadovaného spektra odezvy, je vhodné použít jednokmitočtové zkoušky [23].

## 3.7 Zařízení drážních vozidel – Zkoušky rázy a vibrací

Problematickou zkoušením drážních zařízení na rázy a vibrace se zabývá již v úvodu této kapitoly zmíněná technická norma ČSN EN 61373. Zkoušky popsané v této normě simulují prostředí, kterým jsou drážní vozidla obvykle vystavena, ale nezahrnují vibrace způsobené samotnými zařízeními. Tyto zkoušky jsou vhodné při návrhu nebo validaci zejména drážních vozidel na pevných kolejových systémech, avšak nevylučuje se použití na systémech, které používají pneumatiky jako například trolejbusy. Vozidlo používající pneumatiky má ovšem jiné hladiny rázů a vibrací než vozidlo na pevných kolejnicových systémech a proto je zapotřebí dohoda mezi dodavatelem a odběratelem ohledně zkušebních hladin. Jako u všech seismických zkoušek je i zde zapotřebí jistý technický úsudek a zkušenosti [35].

V této normě jsou zkušební hodnoty rozděleny do tří kategorií dle umístění zařízení ve vozidle [35]:

- Kategorie 1 – montáž na skříň vozidla
  - Třída A – zařízení a součásti přímo na skříni vozidla
  - Třída B – vše co je namontováno uvnitř krytu zařízení, které je přímo na skříni vozidla (používá se, pokud není jasné, kde má být zařízení použito)
- Kategorie 2 – montáž na podvozek vozidla
- Kategorie 3 – montáž na nápravu vozidla



Pokud není požadováno jinak, jsou zařízení použita ve vozidle s jednoduchým vypružením (nákladní vozy) montovaná na nápravu zkoušena dle kategorie 3 a všechna ostatní zařízení dle kategorie 2 [35].

Aby zařízení vyhovovalo této normě, je zapotřebí vykonat tyto zkoušky [35]:

- **Namátková funkční zkouška** – Jsou zde použity minimální zkušební hladiny, které musí zkoušené zařízení podstoupit, aby prokázalo funkčnost v podmínkách, které se v provozu na drážních vozidlech vyskytují. Jedná se o úplné hodnocení výkonu za simulovaných provozních podmínek.
- **Dlouhodobá simulovaná zkouška** – Prokázání mechanické integrity zkoušeného zařízení při zvýšených provozních hladinách. Není nutné prokázat schopnost činnosti [35].
- **Zkoušení rázy** – Simulace ojedinělých provozních jevů. Není nutné prokazovat činnost, ale je nutné prokázat, že nebyl narušen provozní stav deformací nebo porušení mechanické celistvosti.

Doporučené pořadí zkoušek je [35]:

1. **Dlouhodobá simulovaná zkouška životnosti** ve svislém, příčném a podélném směru
2. **Provozní zkouška** (není požadavkem této normy, tudíž není v normě zahrnuta)
3. **Zkouška jízdních vlastností** (není požadavkem této normy, tudíž není v normě zahrnuta)
4. **Funkční zkouška náhodnými vibracemi** ve svislém, příčném a podélném směru.

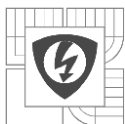
Norma uvádí, že pořadí zkoušek je možné zaměnit (i kvůli zrychlení zkoušky a omezení počtu upínání zkoušeného zařízení ke zkušebnímu přístroji). Ovšem zvolené pořadí zkoušek musí být uvedeno v protokolu.

V následujících třech tabulkách (Tabulka 3.3 Tabulka 3.4 Tabulka 3.5) jsou uvedeny podmínky pro jednotlivé zkoušky popsané v této normě. Uvedené zkušební hodnoty reprezentují typické provozní hodnoty a jsou odvozené z měření při skutečném provozu z příslušných naměřených dat viz. ČSN EN 61373 – Příloha A [35].

Tabulka 3.3: Podmínky pro funkční zkoušku náhodnými vibracemi [35]

Kategorie	Orientace	Efektivní hodnota zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Kmitočtový rozsah [Hz]
1 - Třída A	svislá	0,75	2 - 150
	příčná	0,37	
	podélná	0,50	
1 - Třída B	svislá	1,01	2 - 150
	příčná	0,45	
	podélná	0,70	
2	svislá	5,40	2 - 250
	příčná	4,70	
	podélná	2,50	
3	svislá	38,00	2 - 100
	příčná	34,00	
	podélná	17,00	





Tabulka 3.4: Podmínky pro dlouhodobou simulovanou zkoušku [35]

Kategorie	Orientace	Efektivní hodnota zrychlení [m/s <sup>2</sup> ] Zkušební doba 5 hodin	Kmitočtový rozsah [Hz]
1 - Třída A	svislá	4,25	2 - 150
	příčná	2,09	
	podélná	2,83	
1 - Třída B	svislá	5,72	2 - 150
	příčná	2,55	
	podélná	3,96	
2	svislá	30,60	2 - 250
	příčná	26,60	
	podélná	14,20	
3	svislá	144,00	2 - 100
	příčná	129,00	
	podélná	64,30	

Tabulka 3.5: Podmínky pro zkoušku rázy [35]

Kategorie	Orientace	Špičková hodnota zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Jmenovitá doba trvání [ms]
1 - Třída A, Třída B	svislá	30	30
	příčná	30	
	podélná	50	
2	všechny směry	300	18
3	všechny směry	1000	6

Pozn.: Zařízení je vystaveno 18 rázům (3 kladné a 3 záporné v každé ze tří pravoúhlých os (viz Kapitola 3.2).



## 4 PŘEHLED POŽADAVKŮ NA SEISMICKOU ODOLNOST JISTIČŮ NN A PŘÍSLUŠENSTVÍ DLE IEC

Jističe NN musí splňovat několik základních požadavků. Například musí plnit svou funkci při různém mechanickém namáhání. Musí vydržet i nepříliš šetrné zacházení během přepravy. Nesmí také dojít vlivem vibrací a rázů k samovolnému vybavení jističe, nebo se nesmí uvolnit upevňovací mechanismus a tím celý jistič.

Pro úspěšné absolvování jističe vibrační zkouškou musí jistič splnit tzv. kritéria úspěšnosti, které jsou uvedeny v protokolu o průběhu zkoušky jako například:

- Jistič musí být pevně uchycen k vibrační desce
- Zařízení musí být funkční před, během i po zkoušce
- Zařízení musí zůstat mechanicky nepoškozené
- Nesmí dojít k samovolnému sepnutí/vypnutí jističe v průběhu zkoušky
- Protokol o opakované kusové zkoušce bude vyhovující (konečné ověření)

Při zkoušení jističů NN na seismickou odolnost se využívá zkouška Ea: Rázy [18] a zkouška Fc: vibrace (sinusové) [21]. Nejdříve se zkouší vzorek dle [21], poté dle [18] a po těchto zkouškách následuje prověření provozní schopnosti podle normy vzorku.

Dle interní normy SIEMENS SN 31205 a SN 27095, která vychází z ČSN 60947-1, ČSN 60947-2 a řady norem ČSN 60068 pro zkoušení vlivů prostředí, jsou požadovány následující parametry (Tabulka 4.1) pro vybrané zkoušky (a tedy i požadavky na odolnost samotných jističů). Tyto výše zmíněné technické normy odpovídají příslušné mezinárodní technické normě IEC.

Tabulka 4.1: Parametry pro vybrané seismické zkoušky jističů NN [27] [30]

Název zkoušky	Rozsah kmitočtu [Hz]	Parametry
<b>Fc vibrace (sinusové)</b>	1 - 6	výchylka 15 mm
	6 - 500	zrychlení 20 m/s <sup>2</sup>
<b>Vyšetření vibrační odezvy</b>	2 - 13,2	výchylka ± 1 mm
	13,2 - 100 (200)*	zrychlení ± 0,7 g
<b>Ea Rázy</b>		3 kladné a 3 záporné rázy
		zrychlení 150 m/s <sup>2</sup>
		doba trvání impulzu 11 ms
		půlsinusový tvar impulzu

\* hodnotu 200 Hz udává norma SN 27095 (hodnota 100 Hz vychází z ČSN)



## 5 ZAŘÍZENÍ VHODNÁ PRO ZKOUŠKY SEISMICKÉ ODOLNOSTI

Pro vibrační zkoušky se používají tzv. šejkry (Pozn. z anglického slova shaker - šejkr), které bývají spojeny v pevném rámu s kluzným (posuvným) stolem. Šejkr vytváří vibrace, které se přenášejí na zkoušený vzorek umístěný na tuhém upevňovacím přípravku z textitu (na upevňovací konstrukci nesmí nastat žádná rezonance ve zkoušeném rozsahu kmitočtu), případně se přenášejí na kluzný stůl, kde je umístěn testovací vzorek. Tento přístroj musí být také dostatečně odizolován od svého okolí jednak kvůli vnějším vlivům, ale také aby se vytvářené vibrace nepřenášely do okolí. Zařízení je chlazeno vzduchem nebo vodou. Pro silnější vibrační budiče typicky 18 kN a výš se používá chlazení vodou. Pomocí akcelerometru je šejkr připojen k elektronickému zesilovači. Akcelerometr je snímač, tedy elektrická součástka měřící zrychlení, které převádí na elektrický signál a posílá jej do elektronického zesilovače. Nejčastěji se používají snímače zrychlení od firmy PCB. Snímač zrychlení můžeme k šejkru připojit buď na pevně, nebo pevným mechanickým upevněním, případně pomocí magnetu. Vibrační zařízení zahrnujeme do tzv. vibračního systému, do kterého dále patří výkonový zesilovač, upevňovací přípravek, zkoušený vzorek a řídicí systém.

V následujícím výběru vibračních zařízení je uveden i příklad vibračního systému s jeho základními parametry (Tabulka 5.1, Tabulka 5.2, Tabulka 5.3 a Tabulka 5.4).

### 5.1 Vibrační systémy LDS

Vibrační budiče firmy LDS a jejich komponenty lze rozdělit do několika skupin [6][9]:

- **LOW FORCE RANGE - Vibrační budiče s permanentním magnetem (9 N – 489 N):** Frekvenční rozsah dosahuje hodnot od 5 Hz do 13 kHz. Jsou určeny pro vibrační testy elektroniky, komponent apod. Ideální pro modální testování, tedy ke sběru dat a jejich následné analýze. Používány jsou v rámci vzdělávání, nebo ve výzkumech. Do této kategorie patří: V101, V201, V406/8, V450 a V455 Shakers.
- **LOW-MEDIUM FORCE RANGE - Vzduchem chlazené systémy (667 N – 5115 N):** Široký frekvenční rozsah až po 6300 Hz. Poskytuje všestranné možnosti testování díky řadě volitelných doplňků. Používají se při testování menších a středních objektů, např. automobilové komponenty, elektronika apod. Využívány také pro kalibraci přístrojů díky skvělé příčné tuhosti. Do této kategorie patří: V555, V650, V721 a V780 Shakers.
- **MEDIUM FORCE RANGE - Vzduchem chlazené systémy (8,9 kN – 60 kN):** Používají se pro automobilový a vojenský průmysl, ale také pro testování elektroniky. Jejich výhodou je ve všestrannosti a schopnosti požadované ve výzkumu a vývoji. Vhodné také pro životnostní zkoušky. Tyto systémy spojují vynikající výkon s nízkou cenou a provozními náklady. Do této kategorie patří: V800-V8 Series Shaker.
- **HIGH FORCE RANGE - Vodou chlazené systémy (89 kN – 289 kN):** Při těchto velikostech jsou tyto systémy vhodné pro dlouhodobé či jinak náročné vibrační zkoušky, tam kde je potřeba velké užitečné zatížení, nebo vysoký výkon vibrací například v automobilovém, leteckém nebo vojenském průmyslu. Dále také ve vývoji a produkci elektronických a elektrických strojů apod. Šejkry řady LDS V900 poskytují konstruktérům

důvěru, pokud je potřeba vyvinout vysoce spolehlivé produkty. Do této kategorie patří: V9, V964, V984 a V994 Shakers.

- **Řídicí systém COMET<sub>USB</sub>:** Používá se pro řízení vibračních systémů. Nabízí vysoký výkon za velmi příznivou cenu.
- **Řídicí systém LASER<sub>USB</sub>:** Ideální regulátor pro testovací laboratoře díky kombinaci pohodlí, výkonu, flexibility a bezpečnosti.
- **Kluzné stoly a přípravky:** Široká škála kluzných vibračních stolů pro různá zatížení a různých rozměrů. A další přípravky potřebné pro vibrační zkoušky.

Tyto vibrační systémy od firmy LDS splňují rostoucí poptávku po více přesném a komplexním testování. Nejvyšší systémy ze série V700 a všechny ze série V800 a V900 se používají v kombinaci namontovaného šejkru a kluzného stolu v jednom pevném rámu (tzv. LDS Combo Systems). Tyto kombo systémy mohou být dodávány se dvěma typy kluzných stolů. Jedná se o LPT sérii (LDS LPT Combo) a HBT sérii (LDS HBT Combo) [8].

LPT série, tedy nízkotlaké stoly (*Obrázek 5.1*) poskytují cenově efektivnější řešení než u HBT série pro použití ve výrobních linkách a výzkumech. Používají se k testování leteckého a vojenského vybavení, komponentů pro automobilový průmysl a v neposlední řadě také pro zkoušky elektronických zařízení. Je zde použit olejový film pro podporu minimalizování vlnění desky. Ložiska jsou umístěna na středové čáře, což eliminuje případné nastavování stolu vlivem zvětšování nebo zmenšování desky v důsledku teplotních změn. Jsou schopny až 63 mm posunutí [8].



*Obrázek 5.1: LDS V 875 systém LPT Combo [24]*



HBT série, stoly s hydrostatickým (Obrázek 5.2) ložiskem poskytují ideální řešení pro namáhavé požadavky na vibrační testování. Využitím hydrostatických ložisek umožňuje stolu snést větší zatížení. Ve velké míře se tato série používá stejně jak u LPT série k tetování leteckého a vojenského vybavení, komponentů pro automobilový průmysl a elektronického zařízení. Jsou schopny až 75 mm posunutí [8].



Obrázek 5.2:LDS V9 systém HBT Combo [25]

Tabulka 5.1: Příklad LDS systému se základními parametry [10]

Parametry		LDS systém	
		V890 – LPT 900 COMBO	V850 – 440 HBT 600 COMBO
Maximální statické zatížení:	[kg]	700	350
Frekvenční rozsah:	[Hz]	1 až 2300	do 3000
Špičková síla při sinusových vibracích:	[kN]	53,4	22,2
RMS síla při náhodných vibracích:	[kN]	55,6	22,2
Špičková síla při půlsinusovém rázu:	[kN]	166,8	66,7
Max. amplituda výchylky:	[mm]	25,4	-
Max. amplituda rychlosti:	[m/s]	1,6	2
Max. amplituda zrychlení:	[g]	40	60

## 5.2 Vibrační systémy Vötsch

Firma Vötsch vyrábí komory pro dynamické a klimatické zkoušky (Obrázek 5.3). Tedy komory, kde se testuje vliv teploty, klimatu a vibrací. Výrobní program firmy Vötsch reprezentuje celkem 36 zkušebních systémů o třech objemových velikostech 600, 1200 a 2200 litrů se dvěma teplotními rozsahy od -40 nebo -70 do +180°C. Dále je zde na výběr rychlost změny teploty 5, 10 a 15K/min a volbou režimu s klimatem, nebo bez něj. Sinusové a nahodilé vibrace jak v horizontálním tak vertikálním směru jsou realizovatelné v kombinaci s teplotou a také klimatem [5].



Obrázek 5.3: Klimatická komora Vötsch pro kombinované zkoušky [37]

Tabulka 5.2: Příklad Vötsch systému [11]

Parametry		Teplotní komora		
		VTV 7060-5	VCV <sup>3</sup> 7120-5	VCV <sup>3</sup> 7120-10
Teplotní rozsah:	[°C]	od -70 do +180	od -70 do +180	od -70 do +180
Rychlost změny teploty:	[K/min]	5	5,5	topení: 11 a chlazení: 10,5
Rozměry:	[mm]	800x950x800	950x1100x1100	950x1100x1100
Použitelný objem:	[l]	-	1150	1150
Max. zatížení:	[kg]	-	100	100

### 5.3 Vibrační systémy TIRA

TIRA nabízí velké spektrum vibračních zařízení v oblasti vibračních zkoušek. Samozřejmostí u těchto přístrojů je navození náhodných, nebo sinusových rázů, případně různé kombinace těchto jevů. Standartní vibrační systémy TIRA lze rozdělit na standartní vibrační systémy a na modální vibrační systémy. Standartní systémy umožňují vyvinout sílu v rozsahu: 9 N až 300 kN, modální potom od 100 N až 15 kN. Celý systém obvykle obsahuje silový zesilovač, vibrační budič a chladicí systém [36]. Na Obrázek 5.4 jsou zobrazeny nejslabší dodávané vibrační budiče, které dokáží vyvinout sílu v rozsahu: 9 N až 400 N. Příklad silnějšího budiče je uveden v Tabulka 5.3.



Obrázek 5.4: Vibrační systémy TIRA 9N až 400N [38]

Tabulka 5.3: Příklad Tira systému [36]

Parametry		TIRA systém
		VIBRATION TEST SYSTEM TV 59327/*-340
Frekvenční rozsah:	[Hz]	5 - 3000
Špičková síla při sinusových vibracích:	[kN]	27
RMS síla při náhodných vibracích:	[kN]	27
Špičková síla při půl-sinusovém rázu:	[kN]	80
Max. výchylka (Pk - Pk):	[mm]	50,8
Rozměry (výška×šířka×hloubka)	[mm]	1544 × 1212 × 924

### 5.4 Vibrační systémy RMS

Firma RMS s hlavním sídlem ve východní části Hamburku v severním Německu se zabývá od roku 1962 vývojem a výrobou kompletních vibračních testovacích systémů. Jejich vibrační systémy (Obrázek 5.5) se rovněž dělí na chlazené vzduchem nebo vodou. Vzduchem chlazené systémy umožňují vyvinout sílu od 1 kN do 55 kN, vodou chlazené systémy od 18 kN do 160 kN.





Firma dodává ke svým vibračním systémům veškeré příslušenství, včetně výkonového zesilovače a řídicího softwaru. Příklad technických parametrů vibračního systému od firmy RMS lze nalézt v Kapitole 7.1.1.



Obrázek 5.5: Vibrační systém RMS [26]

## 5.5 Vibrační systémy VR

Vibration Research Corporation (VR) navrhuje a vyrábí vibrační generátory a jejich řídicí systémy. Od roku 1995 se stal Vibration Research významným výrobcem zařízení v oblasti vibračního zkušebnictví. Hlavní sídlo firmy se nachází v Michiganu v USA, své pobočky má také v Číně, Indii, Německu, ale také i v Heřmanově Městci v České Republice.

Nejsilnější vibrační budič VR5800 poskytuje maximální špičkovou sílu při sinusových vibracích 2,2 kN a frekvenční rozsah až do 4,5 kHz [28].

Řídicí systém VR9500 (Obrázek 5.6) používá vysokorychlostní procesor RISC, který je schopen zpracovávat velké množství dat. Všechny kritické výpočty jsou prováděny přímo v řídicím systému a až výsledky jsou posílány přes ethernetový kabel do PC [29].



Obrázek 5.6: Řídicí systém VR9500 [29]





## 5.6 Akcelerometry PCB

Firma PCB Piezotronics byla založena v roce 1967 jako výrobce piezoelektrických křemenných čidel, akcelermetrů a související elektroniky pro měření dynamického tlaku, síly a vibrací. V současnosti tato společnost s hlavním sídlem ve státu New York nabízí produkty, jako jsou např.: akcelerometry, dynamometry, senzory točivého momentu, tlakové snímače nebo kalibrační vybavení [32].

Tabulka 5.4: Příklad akcelermetru PCB 352C33 a 353B03 [33]

Parametry		PCB akcelerometry	
		352C33	353B03
Citlivost:	[mV/g]	100 ( $\pm 10$ %)	10 ( $\pm 5$ %)
Měřicí rozsah:	[g peak]	$\pm 50$	$\pm 500$
Frekvenční rozsah ( $\pm 5\%$ ):	[Hz]	0,5 - 10000	1 - 7000
Frekvenční rozsah ( $\pm 10\%$ ):	[Hz]	0,3 - 15 000	0,7 - 11000
Rezonanční frekvence:	[kHz]	$\geq 50$	$\geq 38$
Teplotní rozsah:	[°F]	-65 až +200	-65 až +250
Budící napětí DC:	[V]	18 - 30	18 - 30
Budící proud:	[mA]	2 - 20	2 - 20
Výstupní impedance:	[ $\Omega$ ]	$\leq 200$	$\leq 100$

## 6 EXTERNÍ ZKUŠEBNÍ LABORATOŘE VHODNÉ PRO SEISMICKÉ ZKOUŠKY

V České republice se nachází hned několik akreditovaných zkušeben vhodných pro seismické zkoušky. Dále se zde nachází také nespočet neakreditovaných zkušeben, které většinou slouží při vývoji firmám k odzkoušení výrobků, zdali by výrobky tyto zkoušky splnily. Většina z nich vlastní některé z již zmíněných systémů pro vibrační zkoušky.

### 6.1 Zkušebna firmy SWELL, a.s.

Vývojová zkušebna firmy SWELL je speciálně uzpůsobena pro oblast vývoje a kvality automobilových výrobců a jejich dodavatelů. Sídlo firmy se nachází v Hořicích. Tato zkušebna poskytuje mimo jiné i akreditované zkoušky dle ISO/IEC 17025:2005 pro vibrační odolnost (za klimatických podmínek i za vysokých teplot).

Mezi technické vybavení vhodné pro vibrační zkoušky zkušebna vlastní vibrační elektrodynamické systémy LDS 1,6 kN; 22 kN; 29,5 kN a 35 kN včetně kluzných stolů a klimatické komory Vötsch pro kombinované zkoušky (Obrázek 6.1) [12].



Obrázek 6.1: Firma SWELL: Vibrační systém LDS ve spojení s klimatickou komorou Vötsch [40]

### 6.2 VZLÚ - Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s.

Zkušebna výzkumného a zkušebního leteckého ústavu sídlí v Praze – Letňany. Firma nabízí ve své zkušebně vibrační zkoušky, vyhledávání rezonancí, rázy, havarijní bezpečnost, kombinované zkoušky (vibrace, rázy, teplota a vlhkost) a lineární zrychlení.



Mezi jeho vybavení patří elektrodynamické vibrační a rázové zařízení s kluzným stolem LDS V890 – LPT900 COMBO; LDS V850 – 440HBT600 COMBO a TIRA S597/LS-340. Dále také teplotní komoru Vötsch VTV 7060 – 5 a klimatickou komoru CTS pro kombinované zkoušky s vibracemi [10].

### 6.3 ETC – Evropské testovací centrum Praha

ETC se stalo v roce 1992 součástí firmy Thermo King, kterou následně koupila společnost Ingersoll Rand a vytvořila nový celek Ingersoll Rand Equipment Manufacturing ČR, s.r.o. pod kterou současné ETC patří. ETC sídlí v Hostivicích, v městě při západní hranici Prahy. Testovací centrum má mimo jiné speciální oddělení testování kvality a spolehlivosti, pod kterou spadá její vibrační zkušebna. Dále se tu nachází ještě MAST – Víceosá vibrační zkušebna.

Zkušebna vibrací je vybavena dvěma jednoosými elektromagnetickými vibračními stoly v kombinaci s řízením teploty a vlhkosti okolí. Maximální zatížení, které tyto stoly snesou, činí 850 kg na jednoosé napětí ve vertikálním nebo horizontálním směru. Maximální dynamická síla dosahuje hodnoty 54 kN a jejich frekvenční rozsah dosahuje hodnot od 2 Hz až po 2000 Hz. Klimatická komora má teplotní rozsah od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , rozměry činí  $1,5 \times 1,5 \times 1,1\text{ m}$  (objem komory je  $2,5\text{ m}^3$ ) a maximální hmotnost vzorku může být až 150 kg. Pokud je potřeba, lze přesunout klimatickou komoru nad jednu či druhou vibrační stolicí. Díky kombinaci těchto zařízení lze provádět zároveň mechanické a klimatické zkoušky.

MAST, tedy Víceosá vibrační zkušebna je určena pro vibrační zkoušky až do celkové hmotnosti 10 t při současném víceosém namáhání. Maximální dynamická horizontální síla dosahuje hodnoty 126 kN, v druhém směru 63 kN. Maximální dynamická vertikální hodnota dosahuje potom hodnoty 252 kN. V této zkušebně tedy lze naladit zadaný signál v libovolném zadaném bodě zařízení [13].

### 6.4 VZÚ – Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o.

Výzkumný a zkušební ústav sídlící v Plzni se zabývá výzkumem, vývojem a akreditovaným zkušebnictvím. Zabývá se například výzkumem a zkouškami zaměřenými na zvyšování spolehlivosti a životnosti energetických zařízení. Dále také akreditovanými zkouškami, kalibracemi a měřením pro široký okruh zákazníků [14].

### 6.5 Zkušební laboratoř CVVOZE (SE1.100)

Zkušební laboratoř je součástí CVVOZE (Centrum pro výzkum a využití obnovitelných zdrojů energie při Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií Vysokého učení technického v Brně) vznikla v roce 2013 a v současné době má dvě akreditovaná pracoviště. Jedná se o pracoviště pro zkoušení fotovoltaických panelů a pracoviště pro zkoušení klimatické odolnosti a vibrací. Laboratoř se nachází v budově fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií na Technické 12, učebna SE1.100. Správce této laboratoře je doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

Zkušebna je vybavena klimatickou komorou Vötsch VCV 7060-15 a dvouosým vibračním budičem RMS SW8142-24 (Obrázek 6.2) chlazeným vodou se zesilovačem a řídicím systémem firmy RMS. Zařízení je vhodné pro vibrační a klimatické zkoušky dle normy ČSN EN 60068-2-xx.



Klimatická komora má objem 600 l, teplotní rozsah od  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , rychlost změny teploty je zde až  $15\text{ K/min}$  a je zde také ochrana proti orosení testovaného vzorku. Vibrační budič má průměr armatury 240 mm, rozměry stolu jsou  $600\times 600\text{ mm}$ , vertikální frekvenční rozsah je  $2 - 2700\text{ Hz}$  a horizontální frekvenční rozsah je  $5 - 2000\text{ Hz}$ . Maximální zatížení vibračního budiče je 250 kg a maximální zatížení kluzného stolu je 300 kg [15].



*Obrázek 6.2: Vibrační systém RMS a klimatická komora Vötsch ve zkušebně CVVOZE [39]*

## 6.6 Zkušebna firmy OEZ s.r.o.

Tato neakreditovaná zkušebna slouží především při vývoji nových elektrických přístrojů firmy OEZ s.r.o. Zkušebna sídlí ve městě Letohrad v sídle firmy. Zkušebna vlastní vibrační přístroj od značky Derritron. Konkrétně starší elektrodynamický vibrátor DERRITRON typ VP 85. Navrhované pracoviště v této práci by mělo nahradit toto současné pracoviště.

## 6.7 VTÚPV Vojenský technický ústav pozemního vojska

Zkušební laboratoř speciálních měření č. 1103 spadající pod tento ústav nacházející se ve Vyškově je akreditovaná zkušebna mimo jiné také na seismickou způsobilost, mechanickou odolnost a měření hluku, teplot a vibrací a další.



## 7 NÁVRH ZKUŠEBNÍHO PRACOVISTĚ

Při návrhu zkušebního pracoviště je nutno brát v úvahu několik rozhodujících faktorů, a to zejména účel provozování pracoviště, jeho předpokládanou ekonomickou návratnost, předpokládaný stupeň využití, nebo požadavek na akreditaci pracoviště a s tím spojené povinnosti. Na základě návrhu a odhadu předběžné ekonomické stránky realizace tohoto pracoviště je poté nutno zhodnotit, zdali je uskutečnění tohoto pracoviště pro zákazníka (v tomto případě OEZ s.r.o.) výhodné a reálné toto zkušební pracoviště postavit.

Akreditace samotného pracoviště je velmi náročný proces jak finančně, tak časově. Akreditaci zkušebny zprostředkovává Český institut pro akreditaci, o.p.s. V souladu s § 16 zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky, vydává tzv. Osvědčení o akreditaci, které slouží jako doklad o udělení akreditace na základě posouzení splnění akreditačních požadavků dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005. V tomto osvědčení je uvedena zkušebna, pro kterou bylo osvědčení vystaveno, a přesný výpis zkoušek, které pod toto osvědčení spadají. Na oficiálních webových stránkách Českého institutu pro akreditaci lze stáhnout všechny potřebné dokumenty pro zažádání o akreditaci zkušebny, jejího prodloužení nebo rozšíření, a to včetně návodu na jeho vyplnění.

Navržené pracoviště musí odpovídat zásadám bezpečnosti a ochraně zdraví při práci. Musí být zajištěné vyhovující osvětlení, ideálně stálá teplota a také zde musí být prostředky pro poskytnutí první pomoci.

Návrh zkušebního pracoviště je rozdělen do několika následujících podkapitol, kde je vybráno vhodné zařízení pro vybavení pracoviště spolu s ekonomickou stránkou věci.

### 7.1 Výběr vhodného zkušebního zařízení

Vhodná zařízení byla vybírána jednak tak, aby splnila požadované parametry pro zkoušky jističů nízkého napětí (Kapitola 4), ale zároveň byl kladen důraz na ekonomickou stránku návrhu. Ekonomická stránka návrhu je rozebrána v Kapitole 7.3. Rozhodujícím faktorem při výběru vibračního zařízení jsou tedy zkoušky, které by se měly ve zkušebně provádět a zařízení, která by se zde měla testovat. Na základě těchto informací se poté vybere vhodné vibrační zařízení a řídicí software.

#### 7.1.1 Vibrační generátor

Vibrační generátor je třeba vybrat dle požadovaných parametrů tak, aby byl schopen provádět požadované seismické zkoušky na jističích NN. Je nutné, aby vibrační generátor snesl maximální zatížení alespoň 100 kg. Dále generátor musí být schopen vytvořit požadované parametry, konkrétně požadované zrychlení, výchylku a požadovaný rozsah frekvence vycházející z [18], [21] a [27].

Díky dobrým zkušenostem pracovníků ze zkušební laboratoře CVVOZE (Kapitola 6.5) s firmou RMS (Kapitola 5.4) byl zvolen vodou chlazený vibrační generátor od této firmy. Firma RMS ve svém portfoliu nabízí celou řadu vibračních budičů. Levnější variantou by byly vzduchem chlazené systémy. Bohužel frekvenční rozsah u těchto systémů nedosahuje minimální hodnoty frekvenčního rozsahu 2 Hz, nýbrž 5 Hz a díky tomu tyto vibrační systémy nesplňují požadované



parametry na zkoušky jističů nízkého napětí. Pro návrh tohoto pracoviště byl zvolen vodou chlazený vibrační budič SW8142-18.

Vibrační budič SW8142-18 upevněný spolu s kluzným stolem v extrémně tuhém ocelovém rámu dosahuje maximální špičkové síly při sinusových vibracích 18 kN, snese maximální zatížení 300 kg a maximální špičkové zrychlení při sinusových vibracích dosahuje hodnoty  $783 \text{ m/s}^2$ . Horizontální podstavec, ve kterém je upevněn vibrační budič a kluzný stůl, je vybaven otočnými hlavami k zajištění společného odizolovaného upevnění. Klopný čep umožňuje měnit směr vibrace od vertikálního na horizontální. Tělo šejkru je upevněno pomocí vzduchem odpruženého rámu (vzduchové elastické vaky) k zamezení přenášení vibrací do okolí a má funkci automatické nastavení středové polohy. Systém je také vybaven hydrostatickým ložiskem k zajištění hladkého pohybu s malým třením. Další parametry budiče jsou v Tabulce 7.1.

Tabulka 7.1: Parametry RMS SW8142-18 [26]

Parametry		RMS vibrační budič SW8142-18
Max. špičková síla při sinusových vibracích:	[kN]	18
Max. RMS síla při náhodných vibracích:	[kN]	18
Max. špičková síla při půl-sinusovém rázu:	[kN]	40
Použitelný frekvenční rozsah:	[Hz]	2 - 2700
Max. špičkové zrychlení (sin. Vibrace):	[m/s <sup>2</sup> ]	783
Max. špičkové zrychlení (rázy):	[m/s <sup>2</sup> ]	1739
Max. špičková rychlost (sin. Vibrace):	[m/s]	2
Max. špičková rychlost (rázy):	[m/s]	3
Max. výchylka (sin. Vibrace):	[mm]	51
Max. výchylka (rázy):	[mm]	52
Max. zatížení:	[kg]	300
Celková váha:	[kg]	2200
Rozměry (výška×šířka×hloubka):	[mm]	1074×1248×876
Maximální hluk šejkru:	[dBA]	120
Celková spotřeba energie systému:	[kVA]	20,7

### 7.1.2 Kluzný stůl

Byl vybrán kluzný stůl pro upevnění zkoušeného zařízení kompatibilní s vibračním budičem popsaným výše, konkrétně kluzný stůl od firmy RMS SWH600 s hydrostatickým ložiskem o maximální nosnosti 300 kg vhodný k horizontálním vibračním testům. Přes hnací tyč lze spojit s kruhovou armaturou vibrátoru pro přenos dynamických sil z vibrátoru na kluzný stůl. Tento kluzný stůl je vhodný také pro kombinované zkoušky s použitím klimatické komory například od firmy Vötsch (Kapitola 5.2). Stůl obsahuje základní rám s granitovou upevňovací plochou, integrovaná V-ložiska, desku posuvného stolu klouzající na olejovém filmu a konektory pro přívod a odvod oleje. Deska posuvného stolu má rastr R75 mm se 39 závitovými vložkami M10. Tyto vložky se používají k upevnění testovacího předmětu na montážní desku. Další parametry budiče jsou v tabulce (Tabulka 7.2).



Tabulka 7.2: Parametry RMS SWH600 [26]

Parametry		RMS kluzný stůl SWH600
Tloušťka:	[mm]	40
Materiál:	-	Mg
Rozměry stolu (výška×šířka×hloubka):	[mm]	600×600
Max. zatížení:	[kg]	300
Hmotnost desky stolu:	[kg]	42

### 7.1.3 Řídicí systém

Pro obsluhu vibračního budiče SW8142-18 je vhodný řídicí systém SWR 1200 rovněž od firmy RMS. Řídicí systém je pomocí ethernetu připojen k PC, který pomocí firmou dodávaného a zákazníkem zvoleného softwaru ovládá řídicí systém a ten poté přes výkonový zesilovač ovládá vibrační budič. SWR 1200 umožňuje pomocí softwaru nastavit základní funkce jako například: sinusové, nebo náhodné vibrace, rázy. Umožňuje hledat rezonance, podporuje software pro vzdálenou plochu a mnoho dalších možností. Řídicí systém obsahuje vstupy pro ICP měřiče zrychlení (Kapitola 7.1.6) a naměřené hodnoty z těchto vstupů dále zpracovává.

### 7.1.4 Výkonový zesilovač

Jako nejvýhodnější výkonový zesilovač kompatibilní s budičem SW8142-18 se jeví typ TGE10-2 rovněž od firmy RMS. Jeho výstupní výkon dosahuje hodnoty 20 kVA a jeho účinnost se pohybuje v rozmezí 85 % až 90 %. Se zesilovačem lze relativně dobře manipulovat vzhledem k vestavěným kolečkům a díky kontrolnímu panelu s dotykovým displejem má obsluha rychlý přehled o případných chybových hlášeních. Je chlazen vzduchem a obsahuje moderní výkonové polovodiče z karbidu křemíku. Pomocí ethernetu lze výkonový zesilovač řídit na dálku přes software nainstalovaný v PC. Díky automatickému vypínání v klidovém stavu je velmi úsporný. Výrobce uvádí až 80% úspory elektrické energie oproti provozu na plný výkon. Další parametry výkonového zesilovače jsou v Tabulka 7.3.

Tabulka 7.3: Parametry TGE10-2 [26]

Parametry		RMS vibrační systém
		SW8142-18
Počet výkonových modulů:	-	2
Výstupní výkon:	[kVA]	20
Výstupní proud (rms):	[A]	200
Špičková hodnota proudu:	[A]	800
Výstupní napětí (rms/peak):	[V]	90 / 240
Účinnost:	[%]	85-90
Spínací frekvence:	[kHz]	110
Vstupní napětí (rms) (pro jmenovité výstupní napětí):	[V]	3
Šířka pásma (-3dB)	[Hz]	3000
Rozměry (výška×šířka×hloubka)	[mm]	1980×610×820
Váha:	[kg]	500



### 7.1.5 Chlazení

Vibrační budič RMS SW8142-18 je chlazen vodou a to samostatnou chladicí jednotkou. Tyto systémy rozptýlí efektivněji generované teplo a pracují tišeji než vzduchem chlazené systémy. Chladicí hadice je dlouhá 4 m a dá se prodloužit objednááním u výrobce až na 10 metrů. Chladicí jednotka představuje kompaktní zařízení, které by mělo být umístěno co nejbližze zesilovači. Tato jednotka obsahuje kompletní primární okruh chlazení, spojení s vibrátorem vede přes napájecí trasy a vratné trasy chladicího okruhu a napájecí a vratné trasy hydraulického okruhu (pro hydrostatické ložisko vibrátoru) realizované hadicemi o základní délce 4 m. Dodávaná chladicí jednotka k systémům RMS SWG731 má parametry popsané v následující Tabulka 7.4.

Tabulka 7.4: Parametry chladicí jednotky SWG731

Parametry		Chladicí jednotka RMS SWG731
Chladicí médium:	-	voda
Výkon motoru:	[kW]	1,5
Rozměry (výška×šířka×hloubka):	[mm]	1980×610×820
Externí průtok vody:	[l/min]	11
Vnitřní průtok vody:	[l/min]	30

### 7.1.6 Snímač zrychlení

Byl vybrán vyhovující akcelerometr od firmy PCB: Vysoce citlivý ICP Akcelerometr 352C33, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 5.6 - Tabulka 5.4. K tomuto akcelerometru je doporučen koaxiální kabel model: 003C10 rovněž od firmy PCB.



Obrázek 7.1: Akcelerometr ICP 352C33 [34]

Mezi akcelerometrem umístěným na zkoušeném zařízení a řídicím kontrolérem musí být také tzv. nábojový zesilovač pro zesilování signálů, pokud jsou použity piezoelektrické akcelerometry. U tohoto zesilovače je vstupní veličina elektrický náboj a výsledná citlivost zesilovače se udává v jednotkách mV/pC.

### 7.1.7 Upevňovací přípravek

Vhodným materiálem pro výrobu tuhého upevňovacího přípravku je textit. Tento materiál, vyrobený lisováním za zvýšené teploty z bavlněné tkaniny jako výztuže a živice jako pojiva má výbornou mechanickou i elektrickou pevnost, houževnatost, nízkou hmotnost a dobrou opracovatelnost [31].



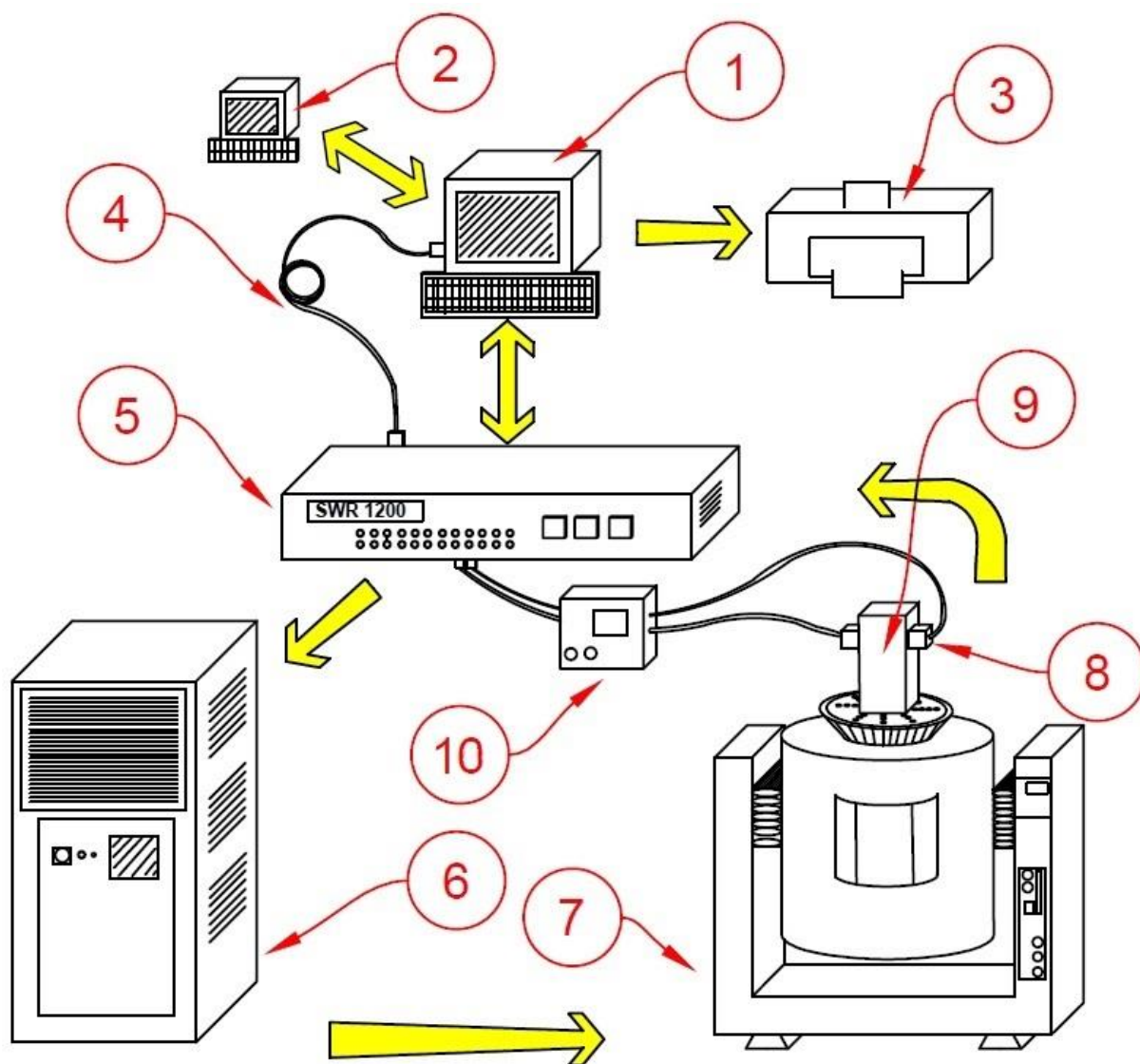
Tento upevňovací přípravek firma RMS k vibračnímu budiči nedodává a ani se nijak průmyslově nevyrábí. Je tedy třeba výrobek vyrobit na zakázku.

### 7.1.8 Ostatní potřebné vybavení

Jako volitelné příslušenství firma RMS nabízí sadu kabelů dle aktuální potřeby, dálkové řízení výkonového zesilovače, demagnetizační sadu k rozšíření vibračního budiče pro redukci zbytkového magnetizačního pole s integrovaným napájením v zesilovači a možnost prodloužit propojení pro chladicí vodu.

Dále by pracoviště mělo obsahovat PC (alespoň 8 GB RAM) pro ovládání řídicího systému, potřebný nábytek pro práci, základní pracovní nářadí, multimetr, osciloskop, hasicí přístroj a také měřič teploty, relativní vlhkosti a tlaku vzduchu uvnitř zkušebny.

### 7.1.9 Schéma vibračního systému



Obrázek 7.2: Nakreslené schéma navrženého vibračního systému



Popis Obrázek 7.2:

1. **PC** - Hlavní řídicí PC, které ovládá řídicí kontrolér
2. **Vzdálené PC**
3. **Tiskárna**
4. **Ethernetový kabel**
5. **Řídicí kontrolér** (Kapitola 7.1.3)
6. **Výkonový zesilovač** (Kapitola 7.1.4)
7. **Vibrační budič** (Kapitola 7.1.1)
8. **Akcelerometr** (Kapitola 7.1.6)
9. **Zkoušené zařízení**
10. **Nábojový zesilovač** (Kapitola 7.1.6)

Pozn.: Chladicí jednotka na Obrázek 7.2 chybí, z důvodu přehlednosti schématu.

## 7.2 Výběr vhodného prostoru pro zkušebnu

Vzhledem k rozměrům vibračního budiče s kluzným stolem, zesilovače a dalšího potřebného příslušenství je potřeba místnost o rozměrech minimálně cca 10 m x 5 m. Musí být brán v potaz potřebný manévrovací prostor okolo vibračního budiče pro bezpečný průběh vibrační zkoušky. Dále je potřebné také myslet na odhlučnění místnosti a tedy tloušťku stěn, díky kterým se vnitřní prostor zmenší.

Firma RMS požaduje před instalací systému do zkušebny doručení tzv. Protokolu připravenosti pro instalaci, kde by měl zákazník prokázat připravenost na instalaci systému. Zejména poskytnout dostatečný prostor, přípojky, transportní cestu k místu instalace apod.

## 7.3 Předpokládaná ekonomická návratnost

Oslovená firma RMS bohužel dodala cenovou nabídku šejkru SW8142-21 dosahujícího maximálního špičkového zatížení při sinusových vibracích 21 kN (oproti původně zamýšleným 18 kN), ale na úkor menšího frekvenčního rozsahu (5 Hz – 2500 Hz), který pro seismické zkoušky jističů NN dle Kapitoly 4 nevyhovuje. Avšak cena méně výkonného šejkru s větším frekvenčním rozsahem je velmi podobná a proto se bude dále uvažovat tato cenová nabídka.

### 7.3.1 Cenová nabídka od firmy RMS

Obdržené ceny veškerého vybavení jsou od výrobce stanoveny v eurech, ale pro úplnost budou dále přepočítávány dle aktuálního kurzu České národní banky k datu 17. 5. 2016 a to v přepočtu 27 Kč za 1 Euro. Cenová nabídka od firmy RMS je uvedena v Tabulka 7.5. Uvedené ceny jsou bez DPH. Platnost obdržené cenové nabídky jsou 4 týdny.



Tabulka 7.5: Cenová nabídka od firmy RMS

Položka	Označení	Popis	Cena	Cena
			€	Kč
1	RMS Shaker SW8142-21	Vibrační systém	184 580	4 983 660
2	Sada kabelů	Volitelné příslušenství	850	22 950
3	Dálkové řízení TGE13	Volitelné příslušenství	810	21 870
4	Demagnetizační sada	Volitelné příslušenství	2 930	79 110
5	Napájení demagnetizační sady	Volitelné příslušenství	1 440	38 880
6	Propojení pro chladicí vodu	Volitelné příslušenství	1 390	37 530
7	RMS SWR 1200 - 4 channels	Volitelné příslušenství	8 600	232 200
8	RMS SWR 1200-01 SINE	Volitelné příslušenství	2 900	78 300
9	RMS SWR 1200-02 RANDOM	Volitelné příslušenství	3 300	89 100
10	RMS SWR 1200-07 RANDOM ON RANDOM	Volitelné příslušenství	3 300	89 100
<b>Cena celkem bez DPH:</b>			<b>210 100</b>	<b>5 672 700</b>

Položka 1, z Tabulka 7.5 obsahuje: šejkr, horizontální podstavec (pro upevnění šejkru a kluzného stolu), kluzný stůl, desku kluzného stolu, spojovací kus pro propojení kluzné desky a kruhové armatury vibrátoru, výkonový zesilovač TGE13-2, balení, dopravu k zákazníkovi a samotnou instalaci u zákazníka (bez cestovních nákladů servisního technika). Položky 2 a 3 obsahují potřebnou sadu kabelů k úspěšné instalaci vibračního systému a dálkové řízení výkonového zesilovače pomocí ethernetu. U položky 6 je nutné ze strany zákazníka připravit propojovací trubku pro připojení vibračního budiče a chladicí jednotky pomocí flexi-hadic a také musí zajistit připojení chladicí vody. U položek 7 až 10 se jedná o řídicí software viz Kapitola 7.1.3.

Firma také nabízí možnost představení důležitých parametrů systému v sídle výrobce a také možnost uzavření servisní smlouvy na pravidelné servisní kontroly. Tyto servisní prohlídky jsou zpoplatněny. Při objednání lze vybrat dodání návodu k obsluze v anglickém nebo německém jazyce. Záruka na obdržené vybavení činí 12 měsíců. Splatnost této cenové nabídky je 30 dnů.

### 7.3.2 Další počáteční výdaje

- Snímač zrychlení ICP 352C33 (2 kusy) včetně nábojového zesilovače: 2400 €, v přepočtu 64 800 Kč.
- Řídicí PC: ≈40 000 Kč
- Ostatní náklady (nábytek, nářadí, menší měřicí přístroje, tiskárna apod.): ≈700 000 Kč



### 7.3.3 Pravidelné roční výdaje

Některé výdaje jsou v tomto návrhu pro zjednodušení zanedbány, jako například vytápění, úklid apod. Rovněž zde nejsou započítané kalibrace měřících přístrojů.

- Pravidelná servisní prohlídka vibračního systému (po 2000 hodinách, nebo po jednom roce) stojí 2500 euro, v přepočtu 67 500 Kč.
- Spotřeba elektrické energie: 100 000 Kč.
- Mzdy dvou zaměstnanců na poloviční úvazek: 540 000 Kč.
- Poplatek za akreditaci: 100 000 Kč.

### 7.3.4 Odhadovaný výnos

Týden zkoušení v zkušebně vyjde zákazníka přibližně na 30 000 Kč až 50 000 Kč. Tato cena je ovšem zavádějící. Cena těchto zkoušek se odvíjí od spousty faktorů, jako je například počet zkoušek, náročnost zkoušení, různé požadavky od zákazníka apod. Ceny jsou proto orientační závislé na konkrétní situaci. Pokud by se tedy uvažovala výše zmíněná částka s tím, že by byla zkušebna využívána 30 týdnů v roce, pohybovala by se částka získaná prostřednictvím této zkušebny od 900 000 Kč do 1 500 000 Kč bez odečtení jakýchkoli nákladů, jedná se tedy pouze o výnos, nikoliv o zisk.

### 7.3.5 Kalkulace

Částka za celkové počáteční náklady bude považována za celkovou vstupní investici a bude brána jako vlastní kapitál bez zapůjčeného kapitálu (bez jakéhokoli úvěru). Nicméně tato částka by se mohla ještě navýšit o cenu nových prostor, pokud by se pro zkušebnu nenašlo místo ve stávajícím objektu OEZ s.r.o. Roční výnosnost se bude uvažovat maximální hodnota výnosnosti z Kapitoly 7.3.4.

Celkové počáteční náklady:	6 477 500 Kč
Roční výnosnost:	1 500 000 Kč
Životnost:	20 let
Diskontní sazba – požadovaná výnosnost	0,07
DPH	21 %

Výpočet čisté současné hodnoty:

$$NPV = \sum_{t=1}^{20} P_{jA} - K_i = 6\,520\,504 - 6\,477\,500 = 43\,004 \text{ Kč} \quad (1.4)$$

kde  $P_{jA}$  je aktualizovaný peněžní příjem na přítomnost;  
 $K_i$  je počáteční kapitál.

Výpočet indexu ziskovosti:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{20} P_{jA}}{K_i} = \frac{6\,520\,504}{6\,477\,500} = 1,0066 \quad (1.5)$$



Výpočet doby návratnosti:

$$T_{nav} = \frac{K_i}{P_j} = \frac{6\,477\,500}{618\,489} = 10,473 \text{ let} \approx 11 \text{ let} \quad (1.6)$$

kde  $P_j$  je peněžní příjem;

Dílčí hodnoty použité ve výpočtu (1.4), (1.5) a (1.6) jsou uvedeny v tabulce v příloze (Příloha - tabulka 1 a Příloha - tabulka 2).

### 7.3.6 Zhodnocení ekonomické návratnosti

Metoda čisté současné hodnoty (*NPV*) je dynamická metoda pro zhodnocení ekonomické efektivity investic. Jestliže výsledná hodnota *NPV* vyjde větší než nula (tzn. diskontované peněžní příjmy převyšují kapitálové výdaje) je investice pro firmu přijatelná a nesníží tržní hodnotu firmy [41].

Efektivita investice je dále určena tzv. indexem ziskovosti (*PI*), který vyjadřuje velikost současné hodnoty budoucích příjmů připadající na jednotku investičních výdajů přepočtených na současnou hodnotu. Jestliže výsledná hodnota *PI* vyjde větší jak jedna a zároveň *NPV* vyjde větší jak jedna, je investice pro firmu přijatelná [41].

V našem případě vyšla hodnota *NPV* 43 004 Kč a hodnota *PI* 1,0066, tudíž je dle výpočtu pro firmu přijatelná. Tyto výsledné hodnoty jsou ovšem velmi hraniční a vzhledem k tomu, že se při výpočtu uvažoval maximální odhadovaný roční výnos, který bohužel nelze zaručit po celou dobu provozu zkušebny, může být pro firmu výstavba této zkušebny finančně neefektivní.

Odhadovaná doba návratnosti vyšla pomocí statické metody dle vzorce (1.6) přibližně 11 let. Uvažovaná doba životnosti zkušebny je 20 let. Splacení počáteční investice by tedy mělo dojít před koncem životnosti zkušebny.



## 8 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zadána externě firmou OEZ s.r.o. se sídlem v Letohradu. Cílem práce bylo přiblížit problematiku seismických zkoušek pro jističe nízkého napětí pomocí propůjčených technických norem, konkrétně pomocí souboru norem ČSN EN 60068, normy ČSN EN 60947-1 a ČSN EN 60947-2 týkající se spínacích a řídicích přístrojů nízkého napětí a ze získaných poznatků vypracovat návrh zkušebního pracoviště pro OEZ s.r.o.

Analýza seismických zkoušek (Kapitola 3) byla v této práci vyhotovena formou popisu jednotlivých zkoušek s odkazem na platnou normu ČSN vycházející z mezinárodní normy IEC. Pro zkoušení jističů nízkého napětí na seismickou odolnost se preferuje zkouška Fc: vibrace (sinusové) a zkouška Ea: Rázy. Pro tyto dvě zkoušky spolu s vyšetřením vibrační odezvy (používá se u zkoušky Fc) byly v Kapitole 4 uvedeny stupně přísnosti a tím byly zároveň stanoveny požadavky na seismickou odolnost jističů nízkého napětí (bod zadání č.3). Vybraná zařízení vhodná pro tyto zkoušky byla uvedena v Kapitole 5 spolu s uvedeným příkladem technických parametrů. Na území České republiky se nachází několik vhodných zkušeben zabývajících se touto problematikou. Přehled vybraných zkušeben je v Kapitole 6.

Návrh zkušebního pracoviště byl v této práci pojat formou výběru vhodného zařízení s cenovou nabídkou a určení specifikací a minimálních rozměrů potřebných prostor. Budování nových prostor pro zkušebnu není v návrhu a ekonomické stránce věci zahrnuto, neboť společnost OEZ s.r.o. vhodné prostory vlastní. Při výběru zařízení do tohoto návrhu se vycházelo z konzultace s pracovníky ze zkušební laboratoře CVVOZE (Kapitola 6.5) a také z konzultace s vedoucím zkušebny speciálních měření ve Vyškově (Kapitola 6.7) Ing. Ivanem Štuchalem. Na základě získaných informací byl zvolen vibrační systém od firmy RMS (Kapitola 7.1), který je vhodný pro vybrané zkoušky dle Kapitoly 4 včetně dalšího potřebného vybavení.

Návrh zkušebního pracoviště je náročný i z časového hlediska, neboť jen termín dodání vibračního systému trvá 28 až 32 týdnů od obdržení objednávky. Cenová nabídka od oslovené firmy přišla až po dvou měsících, bohužel však pro jiný typ šejkru, který nesplňoval potřebné parametry. Avšak cena tohoto systému se od původně zamýšleného systému výrazně neliší a proto se v ekonomickém shrnutí počítalo s touto cenovou nabídkou.

V Kapitole 7.3 bylo provedeno přibližné ekonomické zhodnocení návrhu. Vypočtená doba návratnosti vyšla menší než je odhadovaná doba životnosti zkušebny a tudíž by investice měla být splacena v přijatelném časovém rozmezí. Pomocí metody čisté současné hodnoty a indexu ziskovosti byla v Podkapitole 7.3.6 zhodnocena efektivnost investice.

Pokud by realizace pracoviště proběhla, dalo by se vybavení pracoviště v budoucnu doplnit o klimatickou komoru Vötsch pro kombinované vibrační zkoušky a rozšířit tak možnosti této zkušebny.



## 9 LITERATURA

- [1] UNMZ. *Co je to technická norma* [online].[cit.2015-11-6]. Dostupné z:  
<http://www.unmz.cz/urad/co-je-to-technicka-norma->
- [2] IEC. *About the IEC*. [online].[cit.2015-11-6]. Dostupné z:  
<http://www.iec.ch/about/globalreach/?ref=menu>
- [3] NTK. *Technické normy* [online].[cit.2015-11-6]. Dostupné z:  
[https://www.techlib.cz/cs/83080-technicke-normy#tab\\_normClass1](https://www.techlib.cz/cs/83080-technicke-normy#tab_normClass1)
- [4] UL. *About UL*. [online].[cit.2015-11-6]. Dostupné z:  
<http://ul.com/aboutul/>
- [5] KAITRADE. *Zkušební a testovací komory*. [online].[cit.2015-11-6]. Dostupné z:  
<http://kaitrade.cz/produkty/zkusebni-a-testovaci-komory/vibracni-teplotni-a-klimaticke-komory/vibracni-teplotni-a-klimaticke-komory-vtv3vcv3>
- [6] SWMTECH. *Vibrační testování*. [online].[cit.2015-11-6]. Dostupné z:  
<http://www.svmtech.cz/cz/vibracni-testovani>
- [7] ThermoFisher. *Vibration test and Analysis Systems*. [online].[cit.2015-11-8]. Dostupné z:  
<http://www.thermofisher.co.nz/show.aspx?page=/Content/NZ/Environmental-Industrial/Environmental-Monitoring-Safety/Environmental-Simulation/Vibration-Test-Analysis-Systems/Vibration-Test-Analysis-Systems.html>
- [8] BKSV. *LDS slip tables and fixtures*. [online].[cit.2015-11-8]. Dostupné z:  
<http://www.bksv.com/Products/shakers-exciter/lds-vibration-test/fixtures>
- [9] BKSV. *Vibration test systems*. [online].[cit.2015-11-8]. Dostupné z:  
<http://www.bksv.com/doc/bf0223.pdf>
- [10] VZLÚ. *Zkoušky mechanické odolnosti*. [online].[cit.2015-11-8]. Dostupné z:  
<http://www.vzlu.cz/cs/zkousky-mechanicke-odolnosti-c35.html>
- [11] SWELL. *Testing laboratory equipment*. [online].[cit.2015-11-10]. Dostupné z:  
[https://www.swell.cz/swell\\_cs/download/150520\\_seznam-vybaveni-vzk.pdf](https://www.swell.cz/swell_cs/download/150520_seznam-vybaveni-vzk.pdf)
- [12] SWELL. *Vývojová zkušebna*. [online].[cit.2015-11-10]. Dostupné z:  
<https://www.swell.cz/vyvojova-zkusebna.html#!/vyvojova-zkusebna>
- [13] ETC Praha. *Zkušebna Vibrací*. [online].[cit.2015-11-10]. Dostupné z:  
<http://www.etcprg.cz/cz/zkusebna-vibraci>
- [14] VZÚ Plzeň. *Dynamická zkušebna*. [online].[cit.2015-11-10]. Dostupné z:  
<http://www.vzuplzen.cz/dynamicka-zkusebna/>
- [15] UAMT VUTBR. *Zkušební laboratoř CVVOZE*. [online].[cit.2015-11-10]. Dostupné z:  
<http://www.uamt.feec.vutbr.cz/laborator/zkusebni-laborator-cvvoze>
- [16] TIRA. *Vibration test systém*. [online].[cit.2015-11-10]. Dostupné z:  
<http://www.tira-gmbh.com/en/vibration-test-system/>
- [17] ČSN EN 60068-1 ed. 2: *Zkoušení vlivů prostředí - Část 1: Obecně a návod*. Praha: ÚNMZ, 2014.



- [18] ČSN EN 60068-2-27 ed. 2: *Zkoušení vlivů prostředí - Část 2-27: Zkoušky - Zkouška Ea a návod: Rázy*. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [19] ČSN EN 60068-2-47 ed. 2: *Zkoušení vlivů prostředí - Část 2-47: Zkoušky - Upevnění vzorků pro zkoušky vibracemi, nárazy a obdobné dynamické zkoušky*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [20] ČSN EN 60068-2-57 ed. 2: *Zkoušení vlivů prostředí - Část 2-57: Zkoušky - Zkouška Ff: Vibrace - Metoda časového průběhu a sinusových impulzů*. Praha: ÚNMZ, 2014.
- [21] ČSN EN 60068-2-6 ed. 2: *Zkoušení vlivů prostředí - Část 2-6: Zkoušky - Zkouška Fc: Vibrace (sinusové)*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [22] ČSN EN 60068-2-65 ed. 2: *Zkoušení vlivů prostředí - Část 2-65: Zkoušky - Zkouška Fg: Vibrace - Akusticky indukovaná metoda*. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [23] ČSN EN 60068-3-3: *Zkoušení vlivů prostředí - Část 3: Návod - Seismické zkušební metody pro zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [24] BKS.V. *LDS HBT Combo*. [online].[cit.2015-12-7]. Dostupné z: <http://www.bksv.com/Products/shakers-exciter/lds-vibration-test/fixtures/ComboSystemsWithHBTSli%20Table>
- [25] BKS.V. *LDS LPT Combo*. [online].[cit.2015-12-7]. Dostupné z: <http://www.bksv.com/Products/shakers-exciter/lds-vibration-test/fixtures/ComboSystemsWithLPTSlipTable>
- [26] RMS. *SW\_18-45KN\_EN* [online].[cit.2016-2-26]. Dostupné z: <http://www.rms-testsystems.de/index.php/en/downloads-en/vibration-technology#>
- [27] ČSN EN 60947-1 ed. 4: *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [28] VR. *Shakers* [online].[cit.2016-2-26]. Dostupné z: <http://www.vibrationresearch.com/VRshakers.html>
- [29] VR. *VR9500* [online].[cit.2016-2-26]. Dostupné z: <http://www.vibrationresearch.com/VR9500.html>
- [30] SN 31205. 2008. Ed. 1 Amberg: Siemens.
- [31] HANSANET. *Charakteristika TEXTIT* [online].[cit.2016-3-30]. Dostupné z: [http://www.hansanet.cz/clanek/33/Charakteristika-TEXTIT-\(-Texgumoid-\).aspx](http://www.hansanet.cz/clanek/33/Charakteristika-TEXTIT-(-Texgumoid-).aspx)
- [32] PCB. *About* [online].[cit.2016-4-11]. Dostupné z: <http://www.pcb.com/about>
- [33] PCB. *General Purpose Single Axis Accelerometers* [online].[cit.2016-4-11]. Dostupné z: [http://www.pcb.com/testmeasurement/accelerometers/gen\\_purpose/gen\\_purpose\\_singleaxis](http://www.pcb.com/testmeasurement/accelerometers/gen_purpose/gen_purpose_singleaxis)
- [34] PCB. *352C33* [online].[cit.2016-4-11]. Dostupné z: [http://www.pcb.com/contentstore/images/PCB\\_Corporate/Vibration/Products/Photo/400/352C33.jpg?t=635957627475707955](http://www.pcb.com/contentstore/images/PCB_Corporate/Vibration/Products/Photo/400/352C33.jpg?t=635957627475707955)





- [35] ČSN EN 61373 ed. 2: *Drážní zařízení – Zařízení drážních vozidel – Zkoušky rázy a vibracemi*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [36] TIRA. *Vibration test system* [online].[cit.2016-5-16]. Dostupné z:  
<http://www.tira-gmbh.com/en/vibration-test-system/vibration-test-systems/>
- [37] Vötsch. *Obrázek klimatické komory* [online].[cit.2016-5-16]. Dostupné z:  
<http://kaitrade.cz/getFile/case:show/id:17849/lastUpdate:2015-02-13%2013:59:00/type:medium/vibrace1.jpg>
- [38] TIRA. *Obrázek vibračních systémů 9N až 400N* [online].[cit.2016-5-18]. Dostupné z:  
<http://www.tira-gmbh.dk/images/TIRAGmbH-9Nto400N.jpg>
- [39] Vötsch a RMS. *CVVOZE – vibrační systém* [online].[cit.2016-5-19]. Dostupné z:  
[http://www.uamt.feec.vutbr.cz/sites/default/files/media/laborator/galerie1/klimaticka\\_komora\\_s\\_vibracnim\\_buzenim\\_bily.jpg](http://www.uamt.feec.vutbr.cz/sites/default/files/media/laborator/galerie1/klimaticka_komora_s_vibracnim_buzenim_bily.jpg)
- [40] SWELL. *Obrázek vibračního systému* [online].[cit.2016-5-19]. Dostupné z:  
[https://www.swell.cz/vyvojova-zkusebna.html#prettyPhoto\[album\]/1/](https://www.swell.cz/vyvojova-zkusebna.html#prettyPhoto[album]/1/)
- [41] MACHÁČEK, Jan a Michal PTÁČEK. *Ekonomika a ekologie v elektroenergetice*. Brno, 2014.



## 10 PŘÍLOHY

*Příloha - tabulka 1: Vypočtené hodnoty odpisů - rovnoměrný odpis*

Odpisová skupina 3 - rovnoměrný odpis					
Rok	ROS	VC	N <sub>odp</sub>	Oprávka	Z <sub>c</sub>
[-]	[%/rok]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
1	2,75	6 477 500	178 131	178 131	6 299 369
2	5,25	6 477 500	340 069	518 200	5 959 300
3	5,25	6 477 500	340 069	858 269	5 619 231
4	5,25	6 477 500	340 069	1 198 338	5 279 163
5	5,25	6 477 500	340 069	1 538 406	4 939 094
6	5,25	6 477 500	340 069	1 878 475	4 599 025
7	5,25	6 477 500	340 069	2 218 544	4 258 956
8	5,25	6 477 500	340 069	2 558 613	3 918 888
9	5,25	6 477 500	340 069	2 898 681	3 578 819
10	5,25	6 477 500	340 069	3 238 750	3 238 750
11	5,25	6 477 500	340 069	3 400 688	3 076 813
12	5,25	6 477 500	340 069	3 740 756	2 736 744
13	5,25	6 477 500	340 069	4 080 825	2 396 675
14	5,25	6 477 500	340 069	4 420 894	2 056 606
15	5,25	6 477 500	340 069	4 760 963	1 716 538
16	5,25	6 477 500	340 069	5 101 031	1 376 469
17	5,25	6 477 500	340 069	5 441 100	1 036 400
18	5,25	6 477 500	340 069	5 781 169	696 331
19	5,25	6 477 500	340 069	6 121 238	356 263
20	5,25	6 477 500	340 069	6 461 306	16 194



*Příloha - tabulka 2: Tabulka hodnot pro výpočet čisté současné hodnoty*

<b>Rok</b>	<b>Výnosnost</b>	<b>Náklady</b>	<b>Nodp</b>	<b>Z</b>	<b>Z<sub>č</sub></b>	<b>P<sub>j</sub></b>	<b>P<sub>jA</sub></b>
<b>[-]</b>	<b>[Kč]</b>	<b>[Kč]</b>	<b>[Kč]</b>	<b>[Kč]</b>	<b>[Kč]</b>	<b>[Kč]</b>	<b>[Kč]</b>
1	1 500 000	807 500	178 131	514 369	406 351	584 483	546 245
2	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	540 213
3	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	504 872
4	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	471 843
5	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	440 974
6	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	412 126
7	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	385 164
8	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	359 966
9	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	336 417
10	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	314 409
11	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	293 840
12	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	274 617
13	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	256 651
14	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	239 861
15	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	224 169
16	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	209 504
17	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	195 798
18	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	182 989
19	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	171 017
20	1 500 000	807 500	340 069	352 431	278 421	618 489	159 829